دراسه خواص الخلايا الشمسيه ومعملاتها المختلفه

الفهـــــــرس

تابع الفهرس :

بسم الله الرحمن الرحيم

تحية شكر وتقدير اقدمها لمدرسي الافاضل اعضاء هيئة التدريس، ولمدرسي الفاضل الدكتور احمد خوجلي الذى اشرف على اخراج هذا البحث وكذلك اتوجه بالشكر الى كل الفنيين والمهندسين بالقسم، واخص بالشكر الاستاذ هاشم . شاكرا للجميع تعاونهم معي في اخراج هذا البحث .

بسم الله الرحمن الرحيم

* * * *

المقدمة :-

معظم الوسائل التي تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية تعمل بطريقة غير مباشرة (أى لا تستطيع تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية مباشرة بل تحولها الى طاقة أخرى مثل الطاقة الحرارية وتحول الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية) ماعدا الخلايا الشمسية والمزدوجات الحرارية أو ماتعرف بالطاقة الكهروحرارية التي تحول الطاقة الشمسية مباشرة الى طاقة كهربائية دونما حاجة الى استعمال الاجهزة الوسيطة ، لذلك فان أبحاث الطاقة الشمسية في مجال الخلايا الشمسية معقود عليها أمل كبير في أن تقدم اسهاما كبيرا في استخدام الطاقة الشمسية بشكل فعال لانتاج الطاقة الكهربائية التى تتمتع بمرونة عالية من ناحية امكانية استخدامها في جميع المجالات التي تتطلب طاقة رغم انها لم تحقق الى الآن الغايات المرجوة في الحصول على كفاءة عالية باسعار زهيدة وذلك لاسباب سيأتي ذكرها فيما بعد .

نبذة تاريخية عن الطاقة الشمسية والخلايا الشمسية .

١ ــ عام ٢١٢ ق . م استخدم ارخميدس مرايا لتسليط أشعة الشمس على مراكب الرومان فأحرقها وذلك في مدينة سيراكسوسن .

٢ ــ كان للعرب دور هام في دراسة حركة الشمس من الناحية الفلكية .

٣ ـ في القرن السابع عشر في أوروبا استخدمت العدسات في تركيز أشعة الشمس في بؤرة وتسليطها على المعادن لصهرها وعمل الأفران .

٤ ـ في القرن التاسع عشر صنع أول محرك بخارى بالطاقة الشمسية وفي أواخر القرن عملت مضخات مياة ، وأجهزة تقطير ، وتوليد الكهرباء بواسطة المزدوج الحرارى بعد تعريضه لأشعة الشمس .

٥ ـ وفي عام ١٨٣٩م اكتشف العالم بكريل الأثر الكهروضوئي أو الفوتوفولطى (أى توليد الكهرباء بواسطة الضوء) عندما سلط الضوء على عمود مغمور في محلول الكتروليتي وحصل على فرق جهد بين القطبين .

٦ ـ بعد ذلك بحوالي ٤٠ سنه اكتشف ادمزونغس الأثر الكهربائي عند تسليط الضوء على لوح صلب من السلينيوم Se ، وقد قام عدد من الباحثين الأوائل في مجال فيزياء الجوامد بدراسة الخلايا الكهروضوئية المصنوعة من السلينوم واكسيد النحاس وادت هذه الدراسة الى تطوير جهاز قياس الضوء الذى استخدم في كاميرات التصوير .

٧ ـ لم يستخدم التأثير الكهروضوئي كمصدر للطاقة الا في عام ١٩٥٤م حين أثبت جماعة من الباحثين العاملين في شركة R.C.A الأمريكية امكانية استخدام خلية السيلكون ذات الوصلة الثنائية بكفاءة عالية ، وقد وصلت الكفاءة الى حوالى ٦٪ لأول مرة ، واستمر تطوير خلايا السيلكون وسلفات الكادميوم CdS ذات الوصلة الثنائية P N ، وقد اعلن فيما بعد أن كفاءة قدرها ١٢٪ قد أمكن تحقيقها وبمرور الوقت استغلت مواد أخرى وأكتشفت طرق أخرى لعمل الخلايا الشمسية .

٨ ـ وفي عام ١٩٥٨ أطلق أول قمر صناعي يستخدم الخلايا الشمسية ، مما زاد الاهتمام بالخلايا الشمسية لتحويل الطاقة الشمسية مباشرة الى

كهرباء وأدى ذلك الى فتح المجال للعمل على تطوير الخلايا الشمسية اذ أن تكاليف عمل الخلايا الشمسية لم تعد عاملا مهما نسبة للتكاليف الباهظة للقمر الصناعي .

٩ - ومنذ عام ١٩٧٣ بدأت أسعار البترول في الارتفاع ولذلك زاد الاهتمام بدراسات الطاقة الشمسية ووجدت الخلايا الشمسية اهتماما متزايدا .

مقارنة بين الطاقة الشمسية ومصادر الطاقة الأخرى :

أهمية الخلايا الشمسية آتية من الاهتمام بالطاقة الشمسية ولذلك فسوف نجرى مقارنة بين الطاقة الشمسية ومصادر الطاقة الأخرى .

من المعروف أن مصادر الطاقة الحالية والتى تزود الانسان بأكثر احتياجاته هي :

أ) الطاقة الأحفورية Fossil ful وهي :

١- الفحم

٢- النفط

٣- الغاز الطبيعي .

ب) الطاقة المائية :- والتي تستخدم في توليد الكهرباء من مساقط المياة.

جـ) الطاقة النووية :- التي تستخدم لتوليد الكهرباء باستغلال الانشطار النووى في المفاعلات النووية .

واذا قارنا بين الطاقة الأحفورية والمائية والنووية من جهة والطاقة الشمسية من جهة أخرى من حيث المخزون العالمي والاستهلاك نجد أن :

جدول رقم (١)

أرقام الأحتياطي ومعدل الانتاج بما يعادل آلاف ملايين الاطنان من النفط

نوع الطاقة	المخزون العالمي	الاستهلاك العالمي	معدل الانتاج	العمر التقريبي بالسنوات
١- البترول	٩١٫٥	٤٤٪	٢٫٥٠	٣٧
٢- الفحم	٤٠٠٫٠	٣٢٪	٢٫٠٨	١٩٢
٣- الغاز الطبيعي	٥١٫٥	١٨٪	١٫٣٦	٣٨

الطاقة المائية :- الانتاج ٣ بلايين ميجاواط والمستغل من الطاقة ١٥٠ بليون ميجاواط أى ان الانتاج بالنسبة للاستهلاك صغير جدا .

الطاقة النووية :- تعمل على ادارة التوربينات بواسطة سوائل التبريد وتوليد الطاقة الكهربائية من المفاعلات النووية التى تستخدم مادة اليورانيوم U^{235} الذى يوجد بكميات ضئيلة في الطبيعة مع يورانيوم U^{238} ولكن لهذا النوع من الطاقة مشاكل كثيرة مثل التسرب الاشعاعي والنفايات المشعة .

١- الطاقة النووية القائمة على أساس المفاعلات النووية التى تعمل بطريقة الانشطار النووى .

ويعتمد مصدر الطاقة هذا على توفر عنصر اليورانيوم في الطبيعة والذى يوجد بكميات محدودة ، وتتحدد كمية اليورانيوم الممكن استغلالها في الطبيعة بعامل الكلفة الاقتصادية بشكل أساسي ، وقد اعتبر سعر الكلفة المساوى ٢٦ دولار للكيلو غرام الواحد فى عام ١٩٧٤ م كأساس لتقييم احتياطي اليورانيوم في العالم ، وأخيرا فان احصاءات مؤتمر الطاقة الدولى في عام ١٩٧٤ تقدر احتياطي اليورانيوم في العالم بحوالي مليون طن ، ومن المؤكد ان رفع قيمة سعر التكلفة المقبول سيزيد من كمية الاحتياطي المؤكد حيث أن هذه الكمية ستتضاعف بمقدار أربع مرات فيما لو ارتفع سعر الكلفة الى ٣٩ دولار للكيلوغرام الواحد .

ويبلغ استهلاك العالم من اليورانيوم خارج مجموعة الدول الاشتراكية حوالى عشرين ألف طن مما يعنى أن الأحتياطى القائم على أساس ٢٦ دولار للكيلوغرام يكفى العالم ، حسب معدلات الاستهلاك السائدة ، لمدة خمسين عاما يمكن أن تصل الى مائتي عام اذا حسبت الكلفة على اساس ٣٩ دولار

للكيلو غرام ، ولكن من المعلوم أن مساهمة الطاقة النووية في مجال الاستهلاك العالمي قليلة جدا بالمقارنة مع مصادر الطاقة الأحفورية الأمر الذى يعني بأن الطاقة النووية الانشطارية ليست في الواقع حلا طويل الأمد لأزمة الطاقة .

وكذلك طاقة الاندماج النووى وهى الطاقة الناتجة عن اندماج نواتي عنصرا وعنصرين لتكوين عنصر جديد ، وهي نفس العملية التى تتم داخل الشمس حيث أن أنوية الهيدروجين تندمج لتشكل الهيليوم وينتج من هذا التفاعل طاقة هائلة ، والاندماج النووى هو في الواقع ما يحصل في القنبلة الهيدروجينية ، لذلك فان بناء المفاعلات النووية الاندماجية هو بناء قنابل هيدروجينية يتم التحكم في تفاعلها كي لا تفلت زمام الأمور وتحصل كارثة ، وحتى الآن مازالت التجارب على التفاعل الاندماجي تحصل في المختبرات ولما يتوفر تصور نهائي لتفاصيل المفاعلات النووية الأندماجية التي قد تبنى اذا نجحت التجارب المختبرية ، وبالاضافة الي ذلك فلا يستطيع احد اعطاء اجابة شافية عن : متى سيجرى بناء المفاعلات الاندماجية ؟

وانما يكتفى بالقول انها قد تستعمل مع نهاية القرن الحالي .

فاذا نجحت تجارب الاندماج النووى وتم بناء المفاعلات الاندماجية فان الانسان سيحظى بمصدر للطاقة سيدوم — نظريا — مئات ملايين السنين ، ذلك ان العناصر المطلوبة للتفاعل الاندماجي اما انها موجودة في الطبيعة كالديترنيوم أو يمكن تكوينها كالتريتيوم ، وقد كانت حتى الآن معظم التجارب على طاقة الاندماج النووى تجرى في الاتحاد السوفيتي ، والولايات المتحدة الأمريكية ذلك لأن النفقات المطلوبة على البحث والتطوير

والمستوى التكنولوجي المطلوب لذلك يفوق قدرة الكثير من الدول الصناعية .

ولكن كم عدد المفاعلات النووية الانشطارية الموجودة في العالم ؟

عدد المفاعلات النووية الموجودة في عام ١٩٧٦ حوالي ٤٥٠ والآن ربما حوالي ٣ الى ٤ أضعاف ولكن كم مخزون اليورانيوم في العالم ؟؟

تصعب الاجابة على هذا السؤال نسبة للسرية التي تحاط بهـــــذه المعلومـــات .

وهناك مشكلة أخرى بالنسبة للطاقة الأحفورية والمائية والنووية وهـي ان معدل الاستهلاك العالمي يزيد بمقدار ٥٠٪ في كل ١٠ سنوات وحيث ان الدول الصناعية تستهلك وحدها أكثر من ٥٠٪ من الاستهلاك العالمي لذلك فان عمر مصادر الطاقة الأحفورية التي تحتل أكبر نسبة من الاستهلاك العالمي للطاقة يقدر بحوالي ١٠٠ سنة حسب كلا من المخزون والاستهلاك العالمي .

ولكن بالنظر الى الطاقة الشمسية نجد أن النظرية المقبولة والمعقولة ان الطاقة تتولد نتيجة التفاعل النووى الاندماجي داخل الشمس عندمـــا تندمج نوايا الهيدروجين لتكوين نواة الهيليوم (نتيجة لدرجة الحرارة العالية جدا) ويتحول فرق الكتلة الى طاقة $E = \Delta mc^2$

والشاهد على ذلك ان ٨٠٪ من كتلة الشمس عبارة عن هيدروجين ، ١٩٪ هيليوم والباقي ١٪ كربون ونتروجين ومواد أخرى .

ونتيجة لهذا التفاعل النووى الاندماجي يتم تحويل ٦ × ١٠^{11} كيلـو جرام من الهيدروجين الى هيليوم كل ثانية ولذلك تبقى طاقة الشمس آلاف الملايين من السنين .

وتقدر الطاقة التى تصدر من الشمس حوالى ٣ر٨٥ × $١٠^{٢٣}$ كيلو واط ، وتستقبل الأرض من هذه الطاقة حوالي ١ر٨ × $١٠^{١٤}$ كيلو واط ، وبما أن الاستهلاك العالمي الحالي للطاقة يبلغ حوالي $١٠^{١٠}$ كيلو واط .

فان ما يصل الى الأرض من الطاقة الشمسية تبلغ حوالى ٢٠ ألف مرة قدر استهلاك العالم من الطاقة حاليا ، لكن بطبيعة الحال جزء كبير من هذه الطاقة يسقط على البحار والجبال والصحراء حيث لا يمكن الاستفادة منه ورغم ذلك فان الطاقة الشمسية تتوفر بكميات كبيرة ويمكن أن تمد العالم باحتياجاته من الطاقة لاجيال وأجيال قادمة . هذا بالاضافة الى أن استهلاك الطاقة الشمسية لا يؤدى الى تلوث للبيئة ولذلك يقال عن الطاقة الشمسية انها نظيفة ومتجددة .

استغلال الطاقة الشمسية :

يمكن استغلال الطاقة الشمسية في أغراض أهمها مايلى :

١ــ استخدام الطاقة الشمسية في التسخين والتبريد .

أ ــ يعتبر تسخين المياة من أقدم استخدامات الطاقة الشمسية وأكثرها شيوعا خاصة في المناطق الباردة مثل أوروبا وأمريكا واستراليا .

وتتم عملية تسخين المياة لتوليد الماء الساخن للمنازل والمصانع ولأغراض التدفئة بواسطة ما يسمى بالمجمعات الشمسية المسطحة .

ب ــ بعض الاستخدامات تحتاج الى درجات حرارة عالية وفي هذه الحالة تستخدم مركزات أو مكثفات الاشعاع الشمسي بواسطة المرايا والسطوح العاكسة .

جـ ــ ومن أهم هذه الأغراض استغلال الطاقة الشمسية في التبريد اما

على نطاق ضيق لعمل ثلاجات مثلا أو على نطاق أكبر لتبريد الهواء للمنازل وحفظ الفواكه .

٢- استخدام الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء .

تتم هذه العملية بطريقتين :

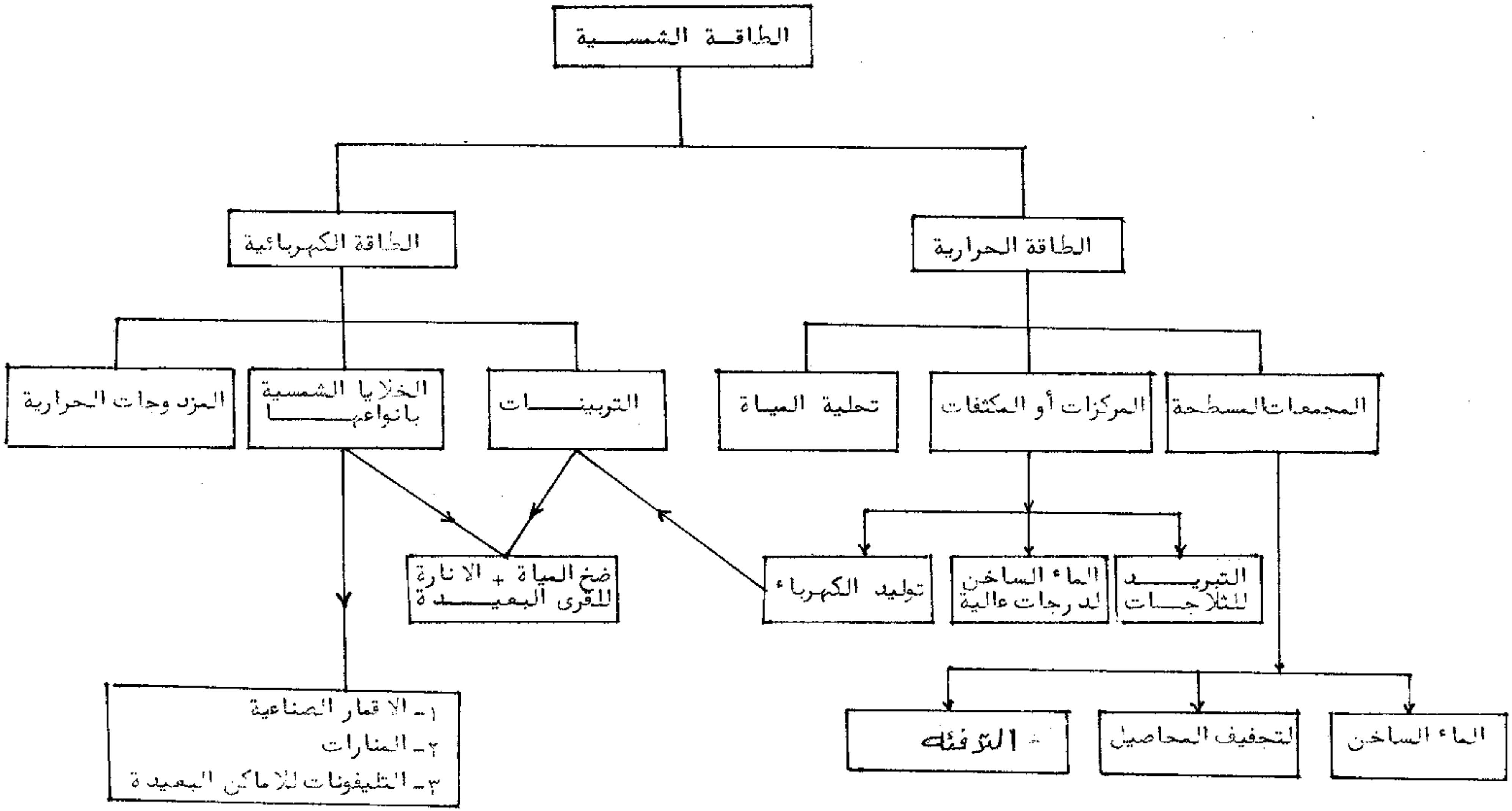
أ - طريقة مباشرة باستخدام الخلايا الشمسية والمزدوجات .

ب - طريقة غير مباشرة بتوليد بخار الماء بواسطة مركزات الاشعاع الشمسي وعمل توربينات الكهرباء ، وسوف نهتم بالطريقة المباشرة التي تستخدم الخلايا الشمسية لانها عملية وناجحة .

٣- استخدام الطاقة الشمسية في أغراض متعددة .

أهم هذه الاغراض تجفيف المحاصيل ، تحلية المياة ، ضخ المياة .

انظر (الرسم التخطيطي للطاقة الشمسية) .


الطاقة الشمسية
الطاقة الكهربائية
الطاقة الحرارية
المزدوجات الحرارية
الخلايا الشمسية بانواعها
التربينات
تحلية المياة
المركزات أو المكثفات
المجمعات المسطحة
ضخ المياة + الانارة للقرى البعيدة
توليد الكهرباء
الماء الساخن لدرجات عالية
التبريد للثلاجات
١- الاقمار الصناعية
٢- المنارات
٣- التليفونات للاماكن البعيدة
- التدفئة
لتجفيف المحاصيل
الماء الساخن

مميزات الخلايا الشمسية :

كما عرفنا من المقدمة أن الخلايا الشمسية مرت بمراحل عديدة وتحسينات شتى ورغم أن المحاولات مستمرة لرفع كفاءتها وتخفيض أسعارها المرتفعة نسبيا الا ان هذا الاسلوب الجديد للحصول على الطاقة الكهربائية معقود عليه أمل كبير وذلك لعدة أسباب أهمها سهولة توليد الطاقة الكهربائية من الخلايا الشمسية حيث انها تحول فوتونات الضوء الى طاقة كهربية أى الى تيار مباشر مثل التيار الذى تولده البطاريات الجافة غير أن هذا لا يشكل عقبة تذكر ، ذلك أن هناك أجهزة تقوم بتحويل التيار المباشر الى تيار متردد واستخدامه في التطبيقات المختلفة اذا كان ذلك ضروريا .

ويعتبر هذا التحويل للطاقة الشمسية الى طاقة كهربية بواسطة خلايا مصنوعة غالبا من مادة السيلكون هي أكثر الطرق شيوعا واستعمالا وهي أيضا أبسط الطرق لكنها مازالت كثيرة التكاليف رغم الجهود المبذولة لتطويرها .

ومن مميزاتها :

١ - انها أكثر مرونة لامكانية استخدامها في جميع المجالات التي تتطلب طاقة .

٢ - انها لا تحتاج الى اجهزة وسيطة - توربينات مثلا - لذلك فهي بسيطة كما انها خفيفة يمكن نقلها بسهولة ، وامكانية ترتيبها بجانب بعضها بحيث تستهلك أصغر مساحة ممكنة .

٣ - التيار يتناسب مع كمية الاشعاع الساقط أى مع عدد الفوتونات .

٤ - مردود مرتفع نسبيا .

٥ - مقاومة مرتفعة تجاة الاشعاعات الكونية العديدة .

أما من الناحية الاقتصادية (تكاليف انتاج الخلايا) فيمكن خفض هذه التكاليف وذلك عن طريق الاستغناء عن الدرجة المرتفعة جدا من النقاوة (اذ يؤدى ذلك الى خفض التكاليف خفضا كبيرا مقابل نقص بسيط في المردود) وبناء مصانع يجرى فيها انتاج هذه الخلايا بشكل آلي وهذا ممكن حاليا من وجهة نظر تكنولوجية .

ولقد توصلت الأبحاث أخيرا الى صناعة ثلاجة تعمل بالخلايا الشمسية وفي استطاعتها التبريد الى درجة ٤ مئوية وهى مزودة أيضا ببطاريات شمسية تخزن الطاقة لمدة خمسة أيام متوالية تعمل بها عند غياب الشمس ، وهذه الثلاجة تستخدم لحفظ الأدوية وهي مخصصة للعمل في القرى .

وهنالك الآن مولدات كهربائية تعمل بالخلايا الشمسية ذات قدرات مختلفة وبالمملكة العربية السعودية محطة كهربائية قدرتها ٣٠٠ كيلو واط ، وتعتبر من أكبر محطات الطاقة الشمسية الكهربائية للأبحاث في العالم وهذه المحطة انشئت بالتعاون بين الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة العربية السعودية في منطقتي الجبيل والعونية بالقرب من مدينة الرياض بهدف تطوير الأبحاث في مجال الطاقة الكهربائية المستمدة من الطاقة الشمسية ويجدر الاشارة الى ان مصفوفات الخلايا الشمسية مصنوعة من خلايا السيلكون التى سنقوم بدراسة خصائصها في هذا البحث .

الباب الثاني

أشباه الموصلات النقية وغير النقية والعوازل والموصلات :

يفيدنا علم الجوامد بان المواد تنقسم الى ثلاثة أقسام :

١- مواد عازلة　　٢- مواد شبه موصلة　　٣- مواد موصلة

وسنتعرض لشرح عملية التوصيل الكهربي باستخدام نظرية النطاق (انظر الرسم١) وحسب هذه النظرية تعتبر ان المواد المعدنية مواد موصلة للكهرباء وذلك يعود الى وجود الكترونات حرة في نطاق التوصيل بينما يكون نطاق التكافؤ مملوءاً بالألكترونات ، ولذلك يمكن عند التوصيل الكهربي لعدد كبير من الألكترونات الانتقال من نطاق التكافؤ الى نطاق التوصيل (انظر الشكل١) .

٢ ــ العوازل :- لا يمكنها توصيل الكهرباء لسببين رئيسيين .

أ ــ نطاق التوصيل ليس به أي الكترونات .

ب ــ النطاق الممنوع كبير جدا وهذا يؤدى الى صعوبة انتقال الالكترونات من نطاق التكافؤ (انظر الشكل ٣) ولذلك لا يمكن للعوازل التوصيل الكهربي من هذه المواد : الزجاج ـ الباكلايت الأبنوس ..... الخ .

٣ ــ أشباه الموصلات وتنقسم قسمين :

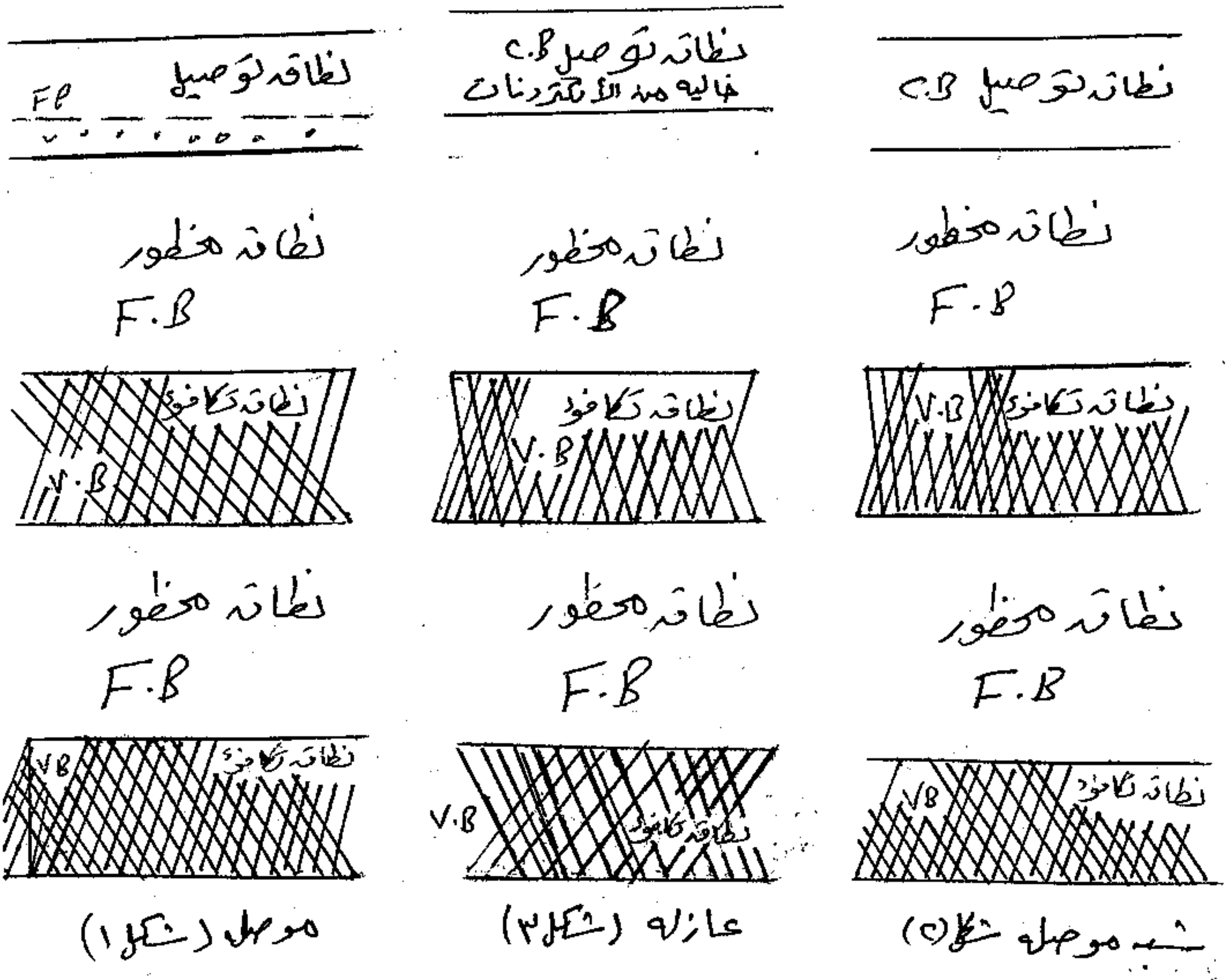
ــ أشباه موصلات نقية .

ــ أشباه موصلات غير نقية .

أما أشباه الموصلات مثل الجرمانيوم والسيلكون فعند التوصيل العادى لا يمكنها التوصيل الكهربي وذلك لسببين رئيسيين :

أ ــ نطاق التوصيل ليس به أى الكترونات .

ب ــ نطاق التكافؤ مملوء بالألكترونات ، لكن النطاق الممنوع الذى يفصل نطاق التكافؤ عن نطاق التوصيل صغير جدا بالمقارنة بالمواد



الرسم (٧) يبين نطاقات الطاقة

V.B نطاق تكافؤ

F.B نطاق محظور

C.B نطاق توصيل

العازلة ، لذلك عند ارتفاع درجات الحرارة تنتقل بعض الألكترونات من نطاق التوصيل لأن عملية التسخين تؤدى الى رفع عدد كبير من الألكترونات من نطاق التكافؤ الى نطاق التوصيل ويؤدى ذلك الى وجود ثقوب موجبة في نطاق التكافؤ وعند تطبيق مجال كهربي تتحرك الألكترونات في عكس اتجاه المجال والثقوب الموجبة في اتجاه المجال الكهربي وتتم عملية التوصيل الكهربي .(شكل ٢)

أشباه الموصلات النقية :

أشباه الموصلات النقية مثل السيلكون والجرمانيوم يحتوى كل منهم في مداره الخارجي على أربعة الكترونات تكافؤية .

وعند درجة حرارة oK (-٢٧٣ درجة مئوية) جميع الألكترونات تكون في منطقة التكافؤ ، ومنطقة التوصيل تكون مفرغة ، وفي هذه الحالة فهي مشابهة للمواد العازلة . والرابطة بين الذرات هي رابطة تكافؤية (أى تساهمية) وعند ارتفاع درجة الحرارة فان عدد كبير من الألكترونات يثار ويكتسب طاقة ليتخطى المنطقة المانعة ولذلك تكون المادة شبه موصلة ويصبح الألكترون حر طليق ويسمى Free Electrens ويكون هذا الألكترون قد كسر الرابطة التساهمية ، وعند التوصيل الكهربي فان هذه الألكترونات الحرة تقوم بعملية التوصيل الكهربي نظرا لوجود المجال الكهربي . ولكن عندما تثار الألكترونات حراريا وتنتقل الى منطقة التوصيل فهي تترك مكانها ثقب أو فجوة ، وبذلك يمكننا القول أن الثقب أو الفجوة يتحرك في الاتجاه المعاكس لحركة الألكترونات في منطقة التكافؤ .

المواد النقية لأشباه الموصلات تسمى أشباه موصلات ذاتية أى انها

لا تحتوى على أى شائبة ولذلك فعندما تسقط الألكترونات في الثقوب فـــان هذه العملية (عملية سقوط الألكترون في الثقب) تسمى الاتحاد .

فحرارة الغرفة كافية لاثارة الألكترونات وانتقالها الى منطقة التوصيـــل وبذلك تصبح هذه المواد موصلة في درجة حرارة الغرفة ، ويكون عـــــدد الألكترونات الطليقة في مكان التوصيل مساويا لعدد الثقوب المتكونة في نطاق التكافؤ في المواد النقية أى أن :

$ni = pi$ حيث n عدد الألكترونات في نطاق التوصيل .

p عدد الثقوب في نطاق التكافؤ .

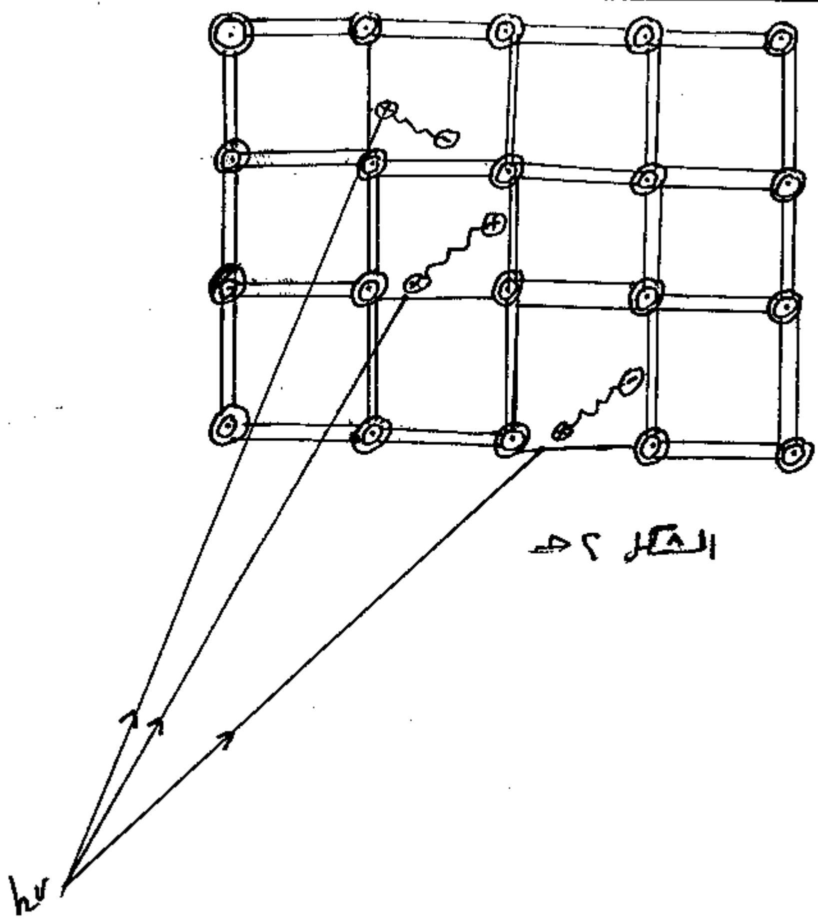
i ترمز للمواد الذاتية .

أشباه الموصلات غير النقية :-

يمكن زيادة فاعلية التوصيل للمواد شبه الموصلة بوضع نسبة معينة مـــن الشوائب ناقل نوع س n - type

ولنأخذ عنصر السيلكون فالسيلكون مكون من ذرات تحتوى على أربـــع الكترونات في نطاق التكافؤ فاذا ادخلنا كمية صغيرة من عنصر الفوسفور أو عنصر الزرنيخ الذى يحتوى على خمسة الكترونات في شبكة بللورة أحد أشباه الموصلات كالسيلكون مثلا بنسبة ذرة فوسفور واحدة لكل مليون ذرة سيلكون فانه يتكون لنا ناقل نوع n - type (انظر الرسم٣) .

ولذلك فانه اذا أضفنا اثناء تكوين بلورة السيلكون عنصر خماسي مثـل الفوسفور فانه بذلك يكون قد وضعنا شائبة من عنصر خماسي في عنصر رباعي التكافؤ دون تغيير كبير في التركيب الذرى للعنصر الرباعي وهو السيلكون

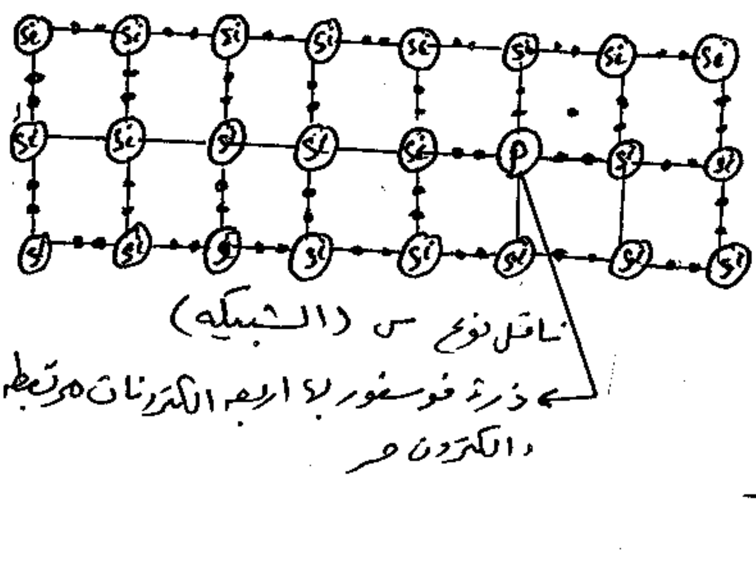


الشكل ٢ج

- رباط ينقصه الكترون
⊕ ايون موجب او ثقب
⊖ ايون سالب او الكترون
◎ ذرة
= رباط الكتروني مكتمل

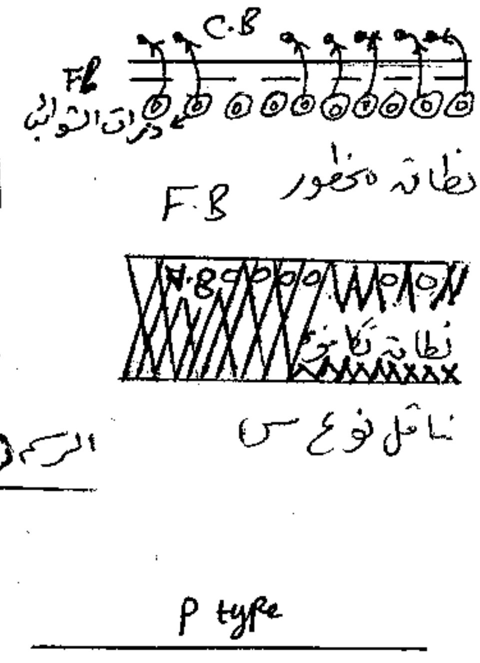
ناقل نوع س n-type

n type



ناقل نوع س (الشبكه)

ذرة فوسفور لا اربع الكترونات مرتبطة والكترون حر



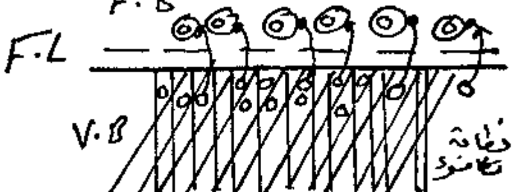
ناقل نوع س

الرسم (٣أ)

p type



ناقل نوع م (الرسم ٣ب)



فيكون بذلك قد حصلنا على الكترون زائد يمكن أن ينتقل الى نطاق التكافؤ ويصبح حر الحركة نتيجة لأن ذرة الفوسفور تقدم أربعة الكترونات لتشترك مع السيلكون في روابطه الاربعة ويبقى الكترون حر أو ضعيف الارتباط بباقي الذرات وفي درجة حرارة الغرفة ينتقل الألكترون الزائد الى نطاق التكافؤ وهذا يؤدى الى زيادة التوصيل الكهربي .

ناقل نوع م p - type

يتشكل الناقل نوع م بادخال كمية من عنصر الألمنيوم أو البورون الذى يحتوى في مداراته الخارجية ثلاثة الكترونات فقط الى شبكة بلورة السيلكون وحيث أن السيلكون يحتوى في مداراته الخارجية على أربعة الكترونات ، لذلك فان الألمنيوم يرتبط مع ذرات السيلكون بثلاث الكترونات ويبقى هناك مكان فارغ (ثقب) نتيجة لأن الألمنيوم لا يحتوى الا على ثلاث الكترونات ويكون هذا المكان الفارغ أو الثقب غير مشغول وبذلك يكون هذا الثقب حر الحركة في نطاق التكافؤ ويتحرك تحت تأثير المجال الكهربي وهذا يؤدى الى تحسين التوصيل الكهربي لشبه الموصل ويكون فيه عدد الثقوب أكثر من عدد الألكترونات الحرة التي انتقلت من نطاق التكافؤ الى نطاق التوصيل عن طريق التأثير الحرارى العادى . (انظر الرسم ٢ ب) .

<u>الخلاصة :-</u> ان ادخال شوائب معطية تؤدى الى عمل شبه موصل نوع س n- type وتكون الألكترونات أكثر من الثقوب وتسمى الألكترونات بناقلات الأكثرية في هذه الحالة .

أما ادخال الشوائب الآخذة فتجعل شبه الموصل من نوع م p - type وتكون الثقوب أكثرية وكلا النوعين أحسن من شبه الموصل النقي من حيث التوصيل الكهربي .

وصف الأثر الكهروضوئي " الفوتوفولفائي "

يمكن تعريفه بانه عملية توليد جهد كهربائي بين طرفي موصل عندما يسقط عليه اشعاع يؤدى الى تأين منطقة قريبة من منطقة الجهد الحاجز القائم بداخل شبه موصل .

ويتميز الأثر الكهروضوئي بقوة دفع كهربية ذاتية ومقدرة على توفير الطاقة الكهربية للحمل واستمدادها من الاشعاع الساقط .

والجهد الحاجز ينشأ في داخل الموصل بعدة طرق أهمها بالنسبة للخلايا الشمسية طريقتان هما :-

١ - الجهد الذى يتكون عند ترسيب طبقة رقيقة شفافة من معدن موصل كما يحدث في حالة خلايا السيلينوم .

٢ - الوصلة ثنائية PN-Junction المعروفة بـ (س م - الوصلة الثنائية) التي تتكون بالتحام بلورة شبه موصل نوع س مع بلورة شبه موصل نوع م أو العكس .

وسوف نتناول في دراستنا هذه الاثر الكهروضوئي الناتج باستخدام شبه الموصل ذى الوصلة الثنائية PN عندما يسقط عليها الاشعاع الشمسى . يوضح الشكل (٢ جـ) الجزء العلوى كيف يؤدى سقوط فوتونات الضوء على شبه الموصل الى توليد حاملات الشحنة حيث ترمز الدوائر المزدوجة الى الذرات التي تكون البناء البلوري لشبه الموصل وتجد بين كل ذرتين رباطين من الألكترونات ولا ينفك الرباط الالكتروني الا اذا اكتسبت الالكترونات طاقة أكبر من الطاقة التي تربطها بالذرة ومقدارها " ١ر١ " الكترون فولط في حالة السيلكون لذلك فان سقوط فوتونات لها طاقة مساوية لطاقة الفكاك أى " ١ر١ "

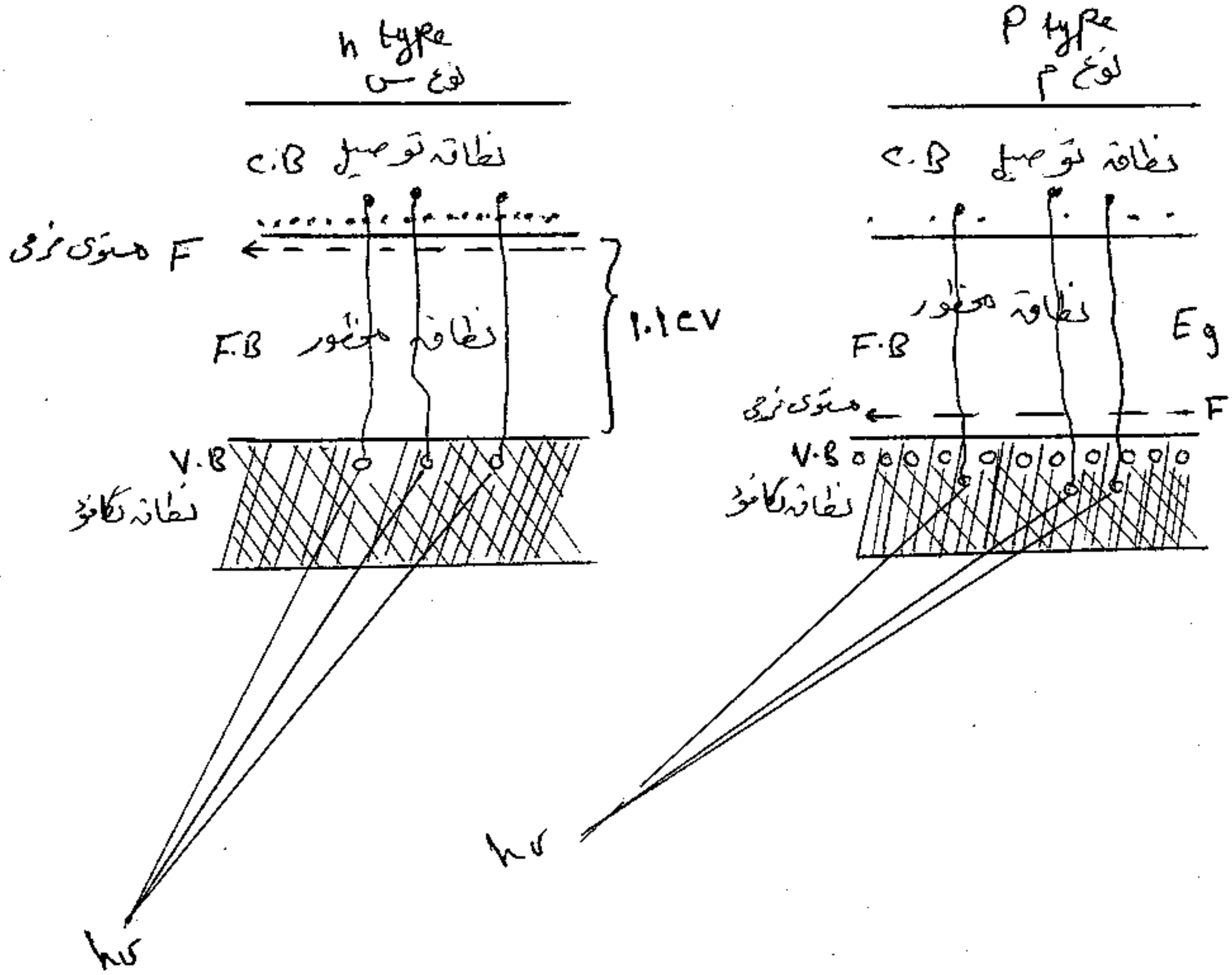
الكترون فولط أو أكبر من هذا القدر يؤدى الى كسر الرباط التكافؤى بين ذرات السيلكون وما هو معروف ان السيلكون تشكل الروابط بين ذراته روابط تساهمية أى تسهم كل ذرة ببذل الكتروني وهذان الالكترونين يشتركان في العمل بين الذرتين وعند كسر الرباط التكافؤى يتولد زوج من الكترون والثقب الموجب ، وتقوم كل منهما بحمل الشحنة وسريان التيار الكهربي اذا توفرت الظروف المناسبة .

ويوضح الرسم على الجانب الايمن نفس العملية باستخدام نظرية النطاق لشبه الموصل .

يوضح الرسم شبه موصل نوع س n - type وكذلك نوع م p - type، وفي حالة نوع س الذى يتكون من السيلكون ذى التكافؤ الرباعي مضاف اليه شوائب معطية ذات التكافؤ الخماسي مثل عنصر الفوسفور أو عنصر الزرنيخ الذى تحوى ذراته في مدارها الأخير على خمسة الكترونات الى شبكة السيلكون بنسبة ذرة واحدة لكل مليون ذرة سيلكون . (انظر الرسم ٢ - ٢ب)

تقدم ذرة الفوسفور لكل رابطة من هذه الروابط الكترون واحد أما الكترونها الخامس فيبقى بدون ارتباط وبالتالي يمكن أن يغادر مكانه نتيجة اهتزاز الشبكة (نتيجة اكتساب طاقة حرارية) ويصبح على شكل الكترون حر فيكون هناك فائض من الالكترونات تنتقل بواسطة الطاقة الحرارية العادية الى نطاق التوصيل ، أما في حالة نوع م الذى يتكون من السليكون مضاف اليه شوائب قابلة ذات تكافؤ ثلاثي (مثل عنصر الالمنيوم) فان الالكترونات في نطاق التوصيل تكون قليلة لكن تكون هناك أكثرية من الثقوب الموجبة في نطاق التكافؤ وتقوم بعملية التوصيل الكهربي .

ويوضح الرسم (٣) مستوىفرمى " ورمزه F في الرسم ٣ " وموقعه في حالة



رسم (٣) وضع مستوى فرمي في الوصله الثنائيه

س في أعلى النطاق المحظور وتحت نطاق التوصيل مباشرة وهناك أكثريـــــة من الالكترونات n في نطاق التوصيل واقلية من الثقوب p في نطاق التكافـؤ وعكس هذا الوضع يكون بالنسبه لنوع p حيث تكون الثقوب p الاكثريه في نـطـاق التكافوء والاكترونات n الاقليه في نطاق التـــوصيل .

وفي درجة حرارة معينة نجد ان حاصل الضرب np يكون ثابتا ففـي حالة السيليكون نوع س .

وفي درحة حرارة الغرفة . $n\,p \simeq 10^{21}$

حيث أن $n = 10^{17}\ cm^{-3}$ $p = 10^{4}\ cm$

أى ان الالكترونات تمثل الاكثرية الغالبة في هذه الحالة.

وعندما يسقط الاشعاع الشمسي على شبه الموصل تعمل الفوتونات ذات الطاقة العالية والتي تكون " ١ر١" الكترون فولت أو أكثر أى أكثر من طاقة النطاق المحظور Eg وبعبارة أخرى يساوية أو أكثر من الطاقة اللازمة لكسـر الرباط الالكتروني التكافؤ في البناء البلورى .

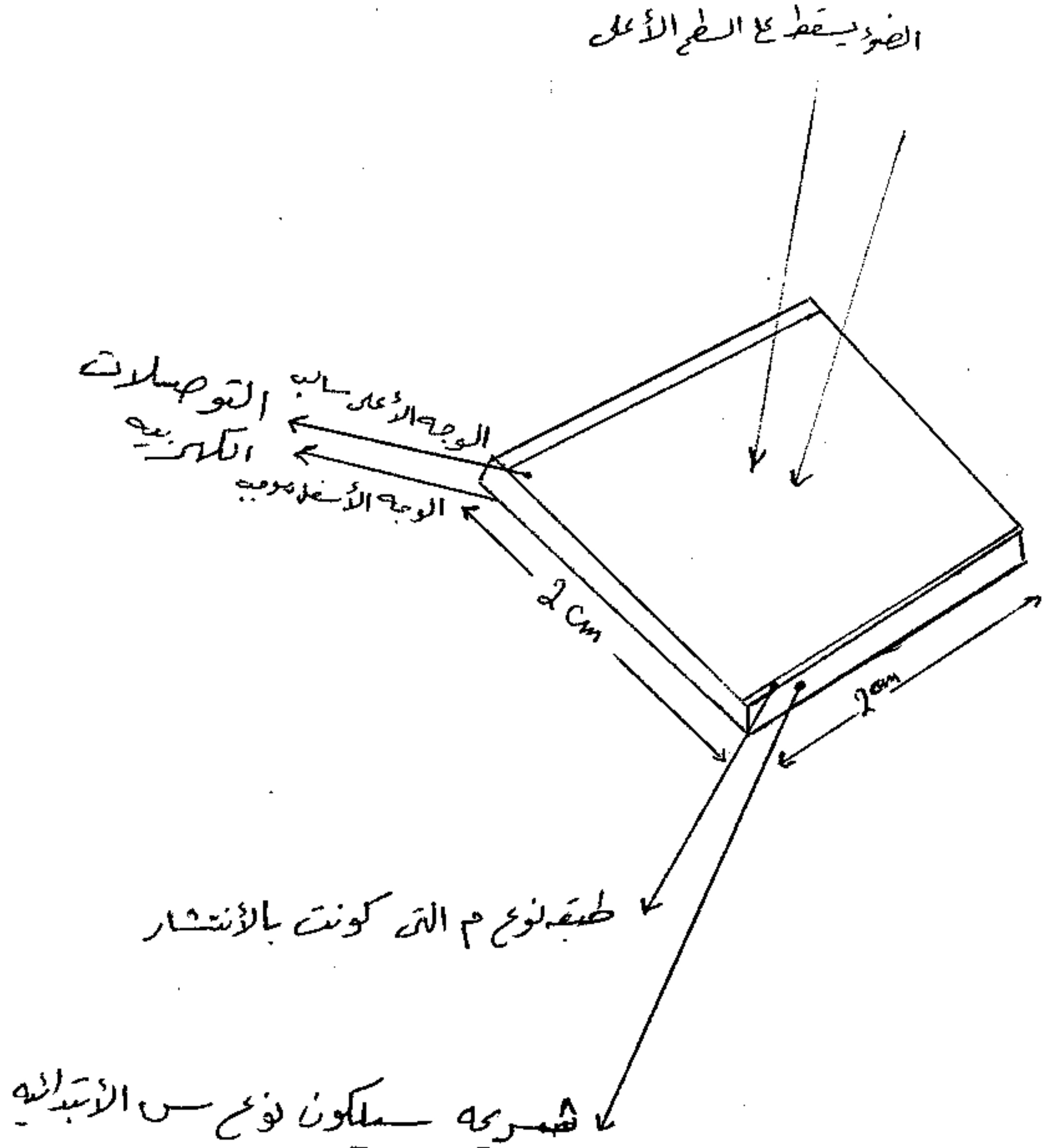
تعمل هذه الفوتونات على خلق ازدواج من الالكترونات والثقوب الموجبة وتكون النتيجة ان يزداد عدد الالكترونات في نطاق التوصيل وعدد الثقـوب في نطاق التكافؤ فاذا كان شبه الموصل من نوع س فان زيادة الالكترونـــات وهما في حدود (10^{17}) لايحدث اثر كبيرا ولكن الزيادة الفعليـــة مكونة من عدد الثقوب (حاملات الأقلية) وكذلك الحال بالنسبة لنــــوع م تكون الزيادة الفعلية في عدد الالكترونات حاملات الأقلية ، والنتيجة هي أن هذه الزيادة تتلاشى في جزء من المايكروثانية بسبب الانتشار العشوائي في داخل شبه الموصل وتتعادل الالكترونات مع الثقوب حتى تعود اعداد الحوامل الى العدد الذى كان سابقا بسبب الاتزان الحرارى اما اذا سقط الاشعاع

على وصلة ثنائية لشبه موصل مكونة من النطاق نوع م ونوع س بطريقة مناسبة، فان الجهد الحاجز داخل الوصلة يمنع تعادل الالكترونات والثقوب ويؤدى الى ابتعادها وتوفير الوسط المناسب لعمل الخلية وسنشرح فيما يلى عملية تكوين الوصلة الثنائية وعمل الخلية الشمسية .

الوصلة الثنائية لأشباه الموصلات " وصلة (س — م) الثنائية "

تبدأ عملية صناعة الوصلة الثنائية عند استخراج بلورة السيلكون النقي وتكون نقاوته ٩٩٫٩٩٩ ٪ واضافة شوائب معينة (الفوسفور ، البورون ، أو الألمنيوم) بكميات محكمة فمثلا يمكن اضافة البورون لعمل سيلكون شبه موصل من نوع م ، ثم بعد ذلك توضع في فرن وتضاف شوائب من النوع الآخر لعمل نوع س يضاف مثلا الفوسفور بعد تغطية الأماكن التي ستعمل بها التوصيلات ، وترفع درجة الحرارة لتكوين طبقة رقيقة من نوع س ، ويبين الرسم (٤) خلية من هذا النوع مع ملاحظة أن بالامكان عكس العملية السابقة أى البدء بشريحة من بلورة السيلكون يضاف اليه شوائب قابلة لتكوين نوع س ثم تكوين طبقة من نوع م بالانتشار .

وبما أن تركيز الالكترونات في المنطقة نوع س أعلى بكثير منه في نوع م ، وكذلك تركيز الثقوب في المنطقة نوع م أعلى بكثير منه في نوع س، فان جزءاً من الالكترونات على السطح الملاصق لنوع م ينتشر في الطبقة الرقيقة من نوع م وتتعادل مع الثقوب الموجودة هناك ، كما تنتقل الثقوب الى النوع س في الاتجاه المضاد وتتعادل وتحدث هذه العملية في فترة قصيرة جدا تبلغ حوالى (بضع ملليي ثانية) ، وتتم عملية التعادل التي تؤدى الى تكوين طبقة رقيقة من الشحنات الموجبة في المنطقة نوع س الملاصقة لنوع م



رسم (٤) خلية سيليكون من نوع م على نوع س

وتؤدى ايضا الى تكوين طبقة رقيقة من الأيونات السالبة في المنطقة نوع م فينشأ نتيجة لذلك فرق جهد الالتصاق ΔE بين النوع س والنوع م يؤدى الى منع استمرار انتشار الالكترونات والثقوب من نوع الى آخر (انظر الرسم "٥") ، ويعرف ΔE بالجهد الحاجز وهو يشبه الى حد ما المكثف .

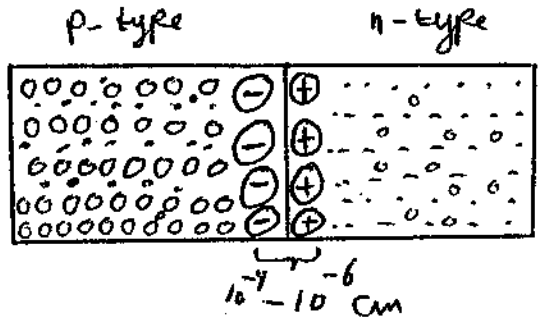
واذا نظرنا الى نطاقات الطاقة للوصلة الثنائية (الرسم ٦) نجد أن الجهد الحاجز ΔE يؤدى الى انخفاض نطاقات نوع س والى ارتفاع نطاقات نوع م بحيث يظل مستوى فرمى للطاقة ثابتا وفي مستوى أفقي واحد متصل عند سطح الالتصاق بين النوعين .

والقاعدة العامة بالنسبة لمستوى فرمى للطاقة هو ان يظل هذا المستوى ثابتا في أى نظام يكون في حالة اتزان حرارى .

ويمكن أن نشبه منطقتي شبه الموصلة (الرسم ٦) باناثين بهما ماء ووصلناهما ببعضهما البعض فأصبح الماء محتفظا بمستوى واحد من الاناثين كذلك مستوى فيرمى للطاقة يحتفظ بمستواه طالما كانت درجة الحرارة واحدة ولكن يجب ملاحظة ان الجهد الحاجز ΔE هو فرق جهد داخلي ولا يمكن استخدامه لاعطاء طاقة لحمل خارجي فاذا أوصلنا طرفي الوصلة الثنائية بسلك فاننا ندخل جهد التصاق جديد بين السلك والوصلة بحيث يكون فرق الجهد الكلى في الدائرة صفرا في درجة حرارة ثابتة ولا يمر أى تيار كهربى .

الخصائص الكهربية للوصلة الثنائية :

لننظر أولا لما يحدث عند تكوين الوصلة الثنائية . هناك الكترونات الأقلية الموجودة في المنطقة نوع م هذه الالكترونات والتي نرمز لها n_p تنتقل تحت التأثير الحرارى العادى الى المنطقة نوع س وتكون التيار I_g

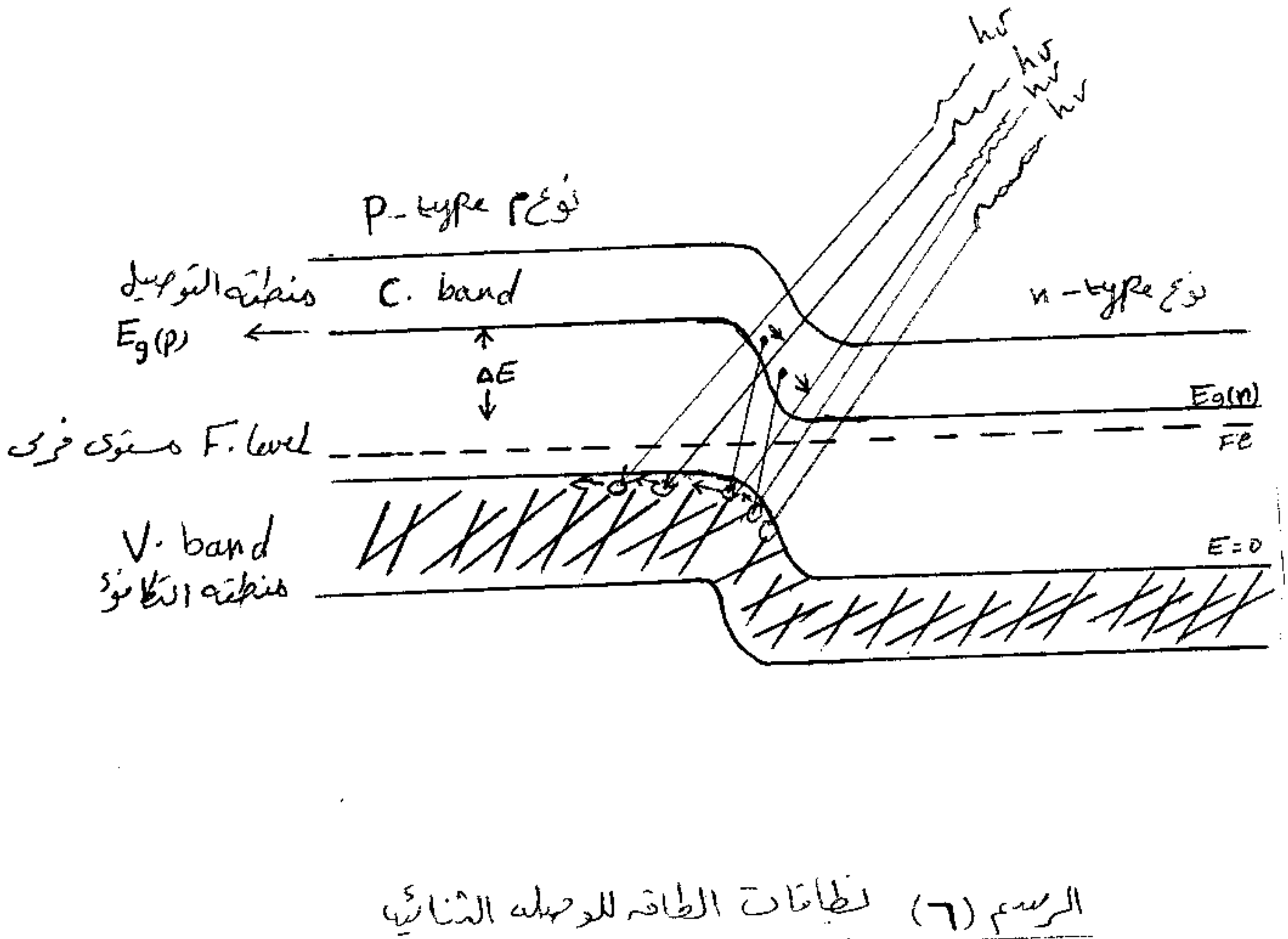


. الكترونات توصيل
∘ ثقوب موجبة
⊕ ايونات موجبة
⊖ ايونات سالبة

الرسم (٥) الوصلة الثنائية

ملاحظة ① ذرات السليكون بالشوائب غير موضحة

② عدد شحنات الغالبية متساوية وتعتبر المادة متعادلة كهربائياً .



الرسم (٦) لطاقات الطاقة للوصلة الثنائية

المولد حراريا والذى يتناسب مع عدد الالكترونات n p حيث أن :

$$(1) \longleftarrow np \simeq A_1 \exp\left[-(Eg(P) - Ef)/KT\right]$$

علما بان p ترمز للمنطقة نوع م .

K ثابت بولتزمان .

T درجة الحرارة بالكلفن .

Ef طاقة فرمي

Eg(P) اتساع المنطقة الممنوعة أو المحظورة لنوع م .

A_1 ثابت

اما في المنطقة نوع س فان عدد الالكترونات في نطاق التوصيل هو

$$n_n \simeq A_1 \exp\left[-(Eg(n) - Ef)/KT\right] \longrightarrow (2)$$

فاذا تخطت هذه الالكترونات الجهد الحاجز ΔE فانها تدخل المنطقة نوع م وتتعادل مع الثقوب الموجودة فيها وينتج التيار Ic في الاتجاه الى اليسار حيث يكون

$$I_c = A_1 \exp\left[-(\Delta E + Eg(n) - Ef)/KT\right]$$

$$Ic \simeq A_1 \exp\left[-(Eg(p) - Eg(n) + Eg(n) - Ef - Ef)/KT\right]$$

$$Ic \simeq A_1 \exp\left[-(Eg(p) - Ef)/KT\right] \longrightarrow (3)$$

وهي نفس المعادلة (١) وذلك لان $\Delta E = Eg(p) - Eg(n) \longrightarrow (4)$

وهذا يعنى أن فرق الجهد الحاجز يضبط نفسه بحيث يكون التيار

$$Ic = Ig$$

فيكون التيار في أى اتجاه مساويا للصفر .

التوصيل الخلفي والأمامي للوصلة الثنائية :

تجدر الاشارة الى ان التوصيل الخلفي للوصلة الثنائية يؤدى الى زيادة الجهد الحاجز فيصبح $\Delta E + ev$

حيث ان V هو فرق الجهد المسلط في الاتجاه الخلفي كما موضح في الرسم (٧) ، لذلك فان الالكترونات الموجودة في منطقة نوع س لا تستطيع عبور هذا الحاجز للدخول الى منطقة م فيصبح I_c صغير جدا ويزداد I_g زيادة طفيفة لان عدد الالكترونات الموجودة في نوع م قليلة أصلا ، أما الثقوب فانها ايضا لا تستطيع العبور الى نوع س لنفس السبب .

أما في حالة التوصيل الأمامي الموضحة في الرسم (٨) فان الجهد المسلط يؤدى الى انقاص الجهد الحاجز فيصبح $\Delta E - eV$

لذلك فان التيار I_c يزداد بينما يبقى التيار المضاد I_g الحرارى كما هو عليه . وتكون زيادة I_c محققة لقانون بولتزمان أى بما يعادل المعامل $\exp(-eV/KT)$ وبما ان I_g لا يتغير فان I_c يصبح

$$I_c = I_g \exp(+eV/KT) \rightarrow (٥)$$

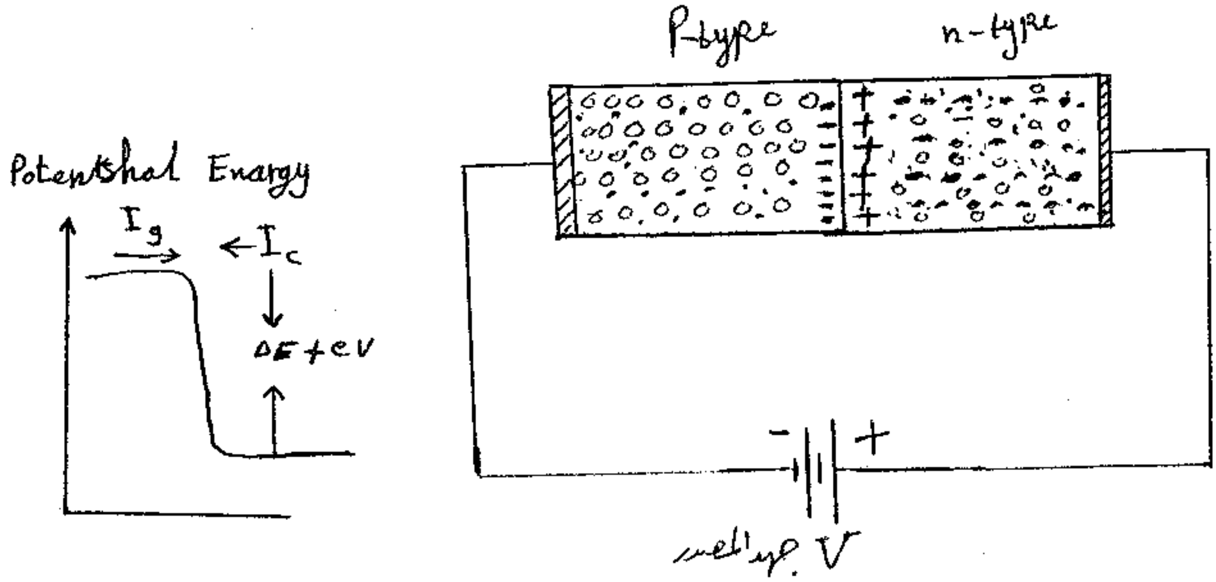
حيث ان eV هي النقص في الجهد الحاجز، فيصبح التيار الناتج في الاتجاه الامامي هو

$$I = I_c - I_g = I_g \exp(+eV/KT) - I_g \longrightarrow (٦)$$

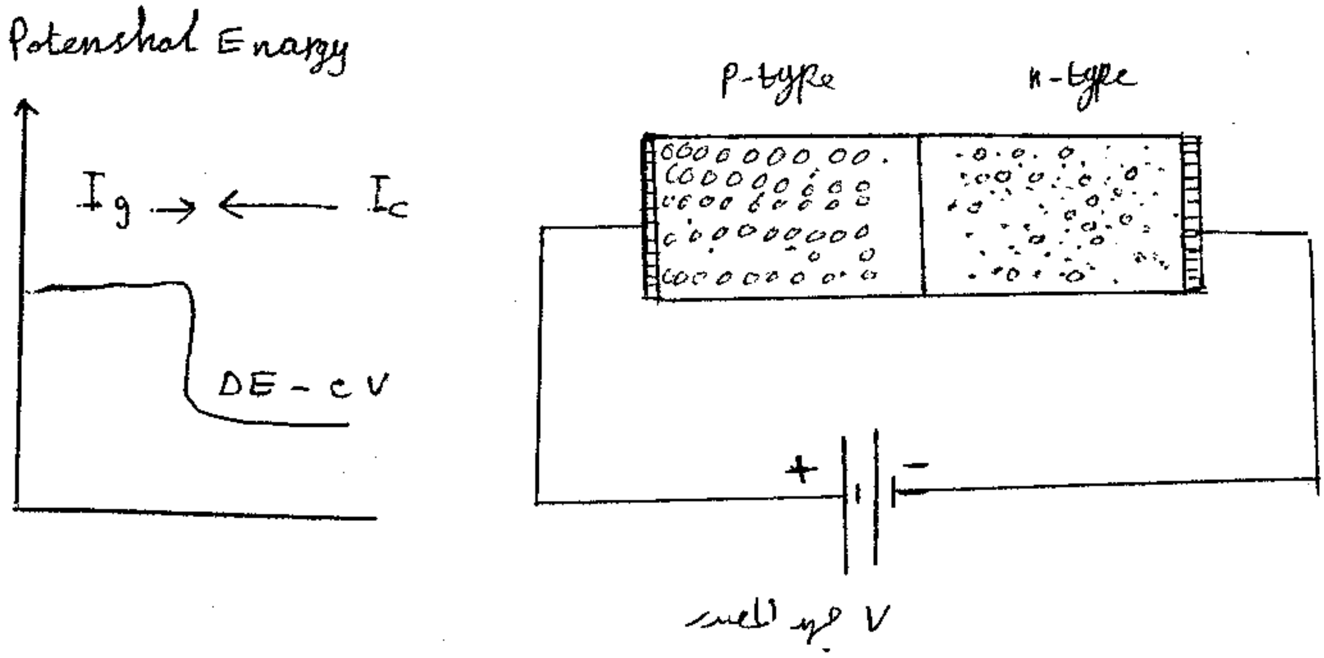
$$I = I_g \left\{ \exp\left[(eV/KT) - 1 \right] \right\} \longrightarrow (7)$$

ونلاحظ أن $I = 0$ عندما $V = 0$ ويزداد زيادة كبيرة اذا كانت V موجبة ويصبح سالبا اذا كانت V سالبة وفي هذه الحالة تكون قيمته صغيرة .

وطبعا هذه العلاقة (7) تنطبق ايضا على تيار الثقوب الذى



الرسم (٧) التوصيل الخلفي للوصلة الثنائية يزداد الجهد الحاجز ويزداد I_g



الرسم (٨) التوصيل الأمامي في الوصلة الثنائية يقل الجهد الحاجز ويزداد I_c

يسرى في الاتجاه المضاد لاتجاه الالكترونات اى من منطقة نوع م الى منطقة نوع س ويضاف تيار الالكترونات الى تيار الثقوب لذلك تكتب العلاقة (7)في شكل آخر ليتضمن ذلك الالكترونات والثقوب في حالة عدم تعرض الخليـــــة لاى اشعاع

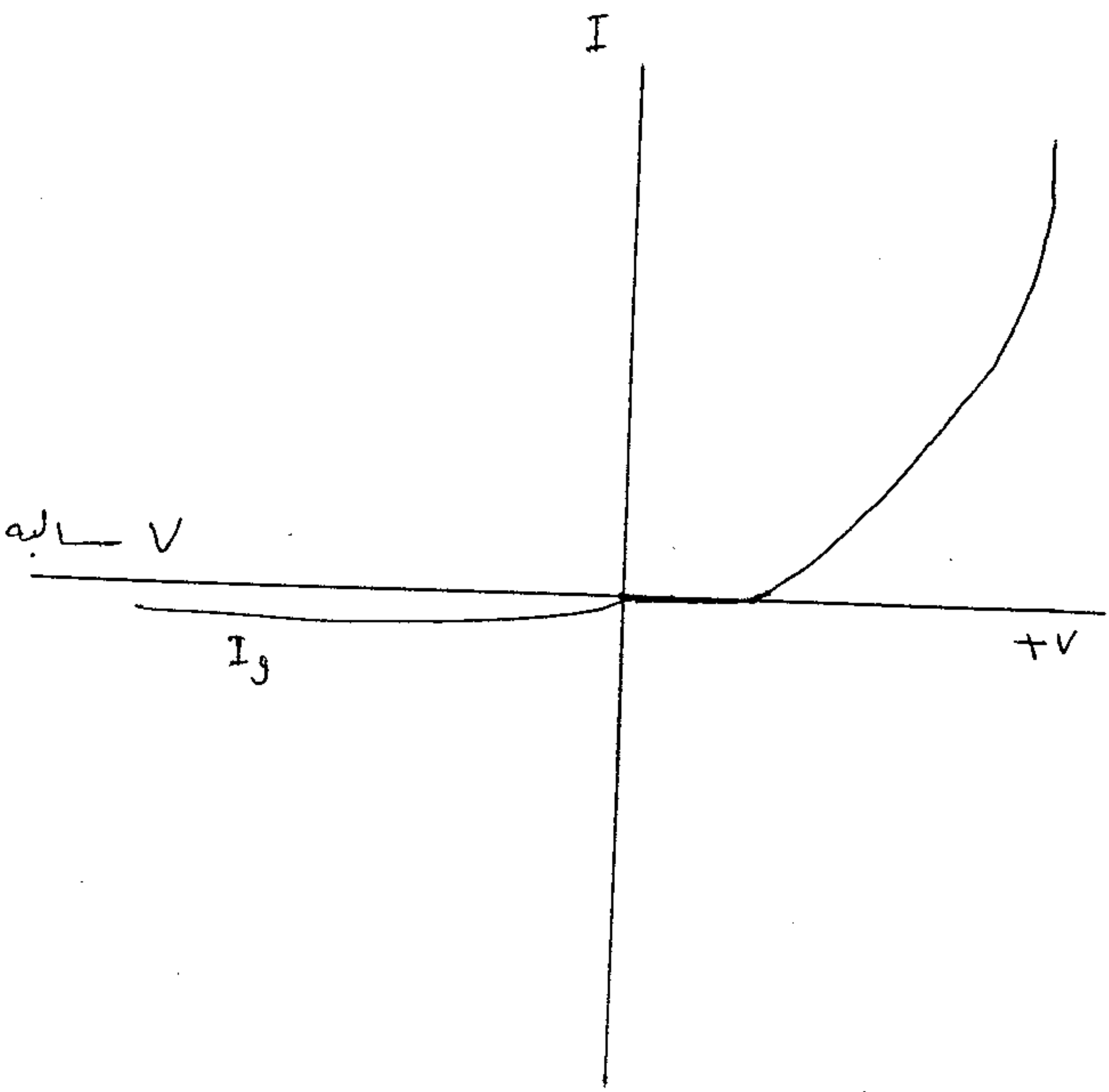
$$I = Io \left\{ \exp (eV / KT) - 1 \right\} \qquad (8)$$

وتعرف هذه العلاقة بمعادلة الوصلة الثنائية (الرسم ٩) .

خصائص الخلية الشمسية :

تختلف الخلية الشمسية عن الوصلة الثنائية العادية "من السيلكون "التى تستخدم في تقويم التيار المتردد وغير ذلك في انه السطح الفاصل بيــــن المنطقة نوع س والمنطقة نوع م المعروف بسطح الالتصاق واسع المساحـــــة ومعرضة للضوء ، لذلك تصمم الخلية الشمسية بحيث يكون هذا السطح كبيـر جدا لامتصاص أكبر قدر ممكن من الاشعاع الشمسي ، والأمر الثاني الـذى يهتم به في التصنيع هو أن يكون هذا السطح قريب جدا من سطح الخليـة المعرض للاشعاع الشمسي . أى ان الطبقة نوع س "عادة" التي يدخل بها الاشعاع يجب أن تكون رقيقة جدا بحيث لاتمتص الا جزءا صغيرا من الاشعاع

ولندرس الآن ما يحدث عند سقوط اشعاع على الوصلة الثنائية . ان امتصاص الفوتون كما ذكرنا من قبل يؤدى الى توليد الكترونه وثقب في آن واحد ووجودهما في منطقة الجهد الحاجز يؤدى الى ان تنتقل كل واحدة منهما في اتجاه مضاد للأخرى ، الرسم (٥ ، ٦) فينتقل الالكترونالى المنطقة نوع س وينتقل الثقب الى اليسار الى المنطقة نوع م ويؤدى ذلـــك



الرسم ((٩)) المنحنى المميز للوصلة الثنائية دون تعريضها للضوء

حيث ان V هو الجهد المسلط عليها

الى مرور تيار كهربي ولعمل التوصيلات الكهربائية المناسبة تولد هذه الخلية طاقة كهربائية من الطاقة الشمسية الساقطة عليها .

وواضح مما سبق ذكره ان التيار الذى تولده الخلية يتناسب مع شدة الاشعاع بينما يعتمد فرق الجهد "الفولت" على الجهد الحاجز ΔE الذى يكون دائما أقل من اتساع النطاق المحظور الذى يساوى (١ر١) فولت لمادة السيلكون .

أى أن $\Delta E = eV \ll 1.1\ eV$

e V الكترون فولت .

وتعتمد قيمة ΔE على كمية الشوائب في نوع n أو نوع p التي تضاف عند صناعة الخلية وفي حالة خلية السيلكون تكون ΔE حوالي 0.45 فولت .

ذكرنا ان الاشعاع يجب أن يسقط عند السطح الفاصل بين المنطقة نوع س ، والمنطقة نوع م ، ولكي تكون الكفاءة عالية لتحويل كل فوتون الى زوج من الالكترون والثقب يجب أن تتم عملية التحويل في منطقة لا تزيد عن طول الانتشار $10^{-2} - 10^{-3}$ Cm = Diffusion Length للوصلة الثنائية لكي تتم عملية امتصاص الفوتونات في منطقة الجهد الحاجز للخلية . ويؤخذ هذا الشرط بعين الاعتبار عند صناعة الخلية وادخال الشوائب بكميات محكمة وفي درجة حرارة محددة .

الباب الثالث

الدراسة النظرية لخواص الخلية الشمسية .

التيار الكلى الذى تولده الخلية عند سقوط الاشعاع عليها .

يمكن دراسة الخواص الكهربية للخلية الكهروضوئية بالرجوع الى الرسم

(١٠) الذى يوضح الدائرة المكافئة لهذه الخلية والرسم (١١) الذى يوضح نفس الدائرة بعد تبسيطها واهمال المعاوقة الموازية " التى تتكون من مقاومة ومكثف متوازيين " لكبرها واهمال المقاومة المتوالية لصغرها ، وتكفي الدائرة المبسطة المكافئة لدراسة عمل الخلية الشمسية ويتضمن ذلك النظرة الميكروسكوبية لعمل الخلية التى تحدثنا عنها سابقا .

تتكون الدائرة المكافئة المبسطة من مصدر تيار ثابت Is ينتجه الضوء الساقط على الخلية ويتفرع الى فرعين احدهما يكون التيار Ij الذى يمر بالمعاوقة غير الخطية Rj التى تمثل الوصلة الثنائية والتيار الثانى I هو التيار الذى يمر في مقاومة الحمل والذى يمكن الاستفادة منه .

ويعرف التيار Is بتيار الدائرة المغلقة ويساوى التيار الذى يمكن الحصول عليه عندما تكون $Rj = o$ وهو عبارة عن كل التيار الذى ينتج من سقوط الاشعاع على الخلية حيث تولد الفوتونات ازواجا من الالكترونات والثقوب

وبما أن $$Is = Ij + I \qquad (9)$$

وان $$Ij = Io\ (\ e^{eV/KT} - 1\ ) \qquad (\bar{9})$$

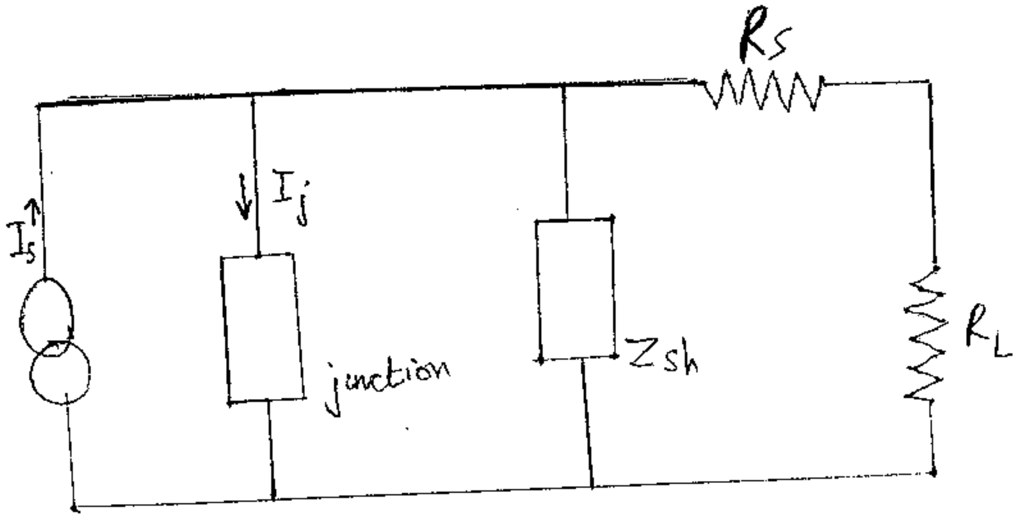
اذن $$I = Is - Ij$$

$$I = Is - Io\ (\ e^{eV/KT} - 1\ ) \qquad (10)$$

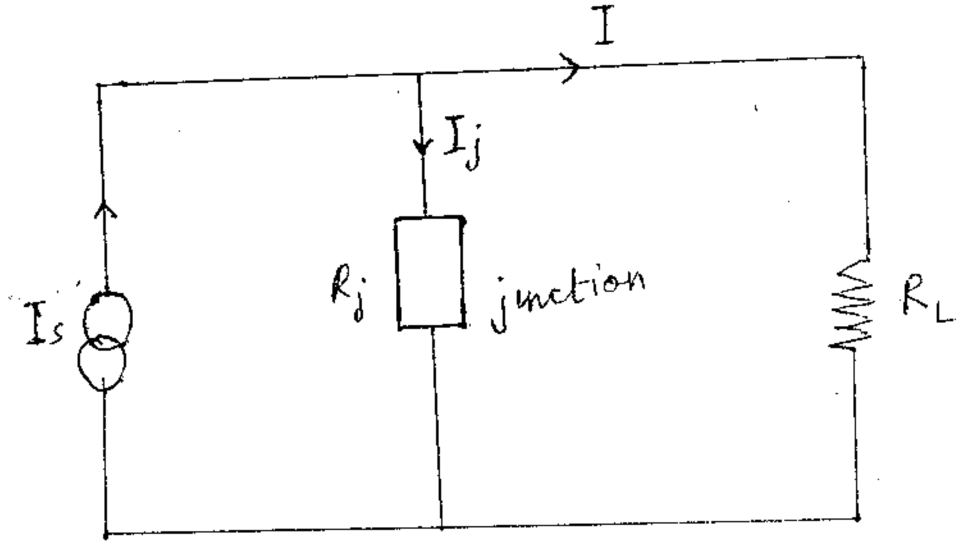
حيث ان I هو التيار الكلى المار في مقاومة الحمل

Io هو تيار الظلام " وهو التيار الذى اسميناه من قبل التيار الحرارى "

V فرق الجهد بين طرفي الوصلة .



الرسم (١٠) الدائرة المكافئة للخلية الشمسية



الرسم (١١) الدائرة المكافئة المبسطة للخلية الشمسية

قدرة الخلية القصوى وكفاءتها في توليد الطاقة الكهربائية .

وسندرس الآن قدرة الخلية وكفاءتها وعملها كمحول للطاقة والعوامل التي تؤدى الى زيادة كفاءتها .

واذا كانت الدائرة مفتوحة $I = o$ نحصل على أقصى قدر لفرق الجهد ويسمى بفولت الدائرة المفتوحة Voc حيث ان

$$Voc = KT/e \ \ln\left(\frac{Is}{Io} + 1\right) \qquad (11)$$

وبما ان القدرة تساوى حاصل ضرب التيار في فرق الجهد فان القدرةالخارجة

$$P = IV$$

$$P = V \left[Is - Io\left(e^{eV/KT} - 1\right)\right] \qquad (12)$$

وللحصول على القدرة القصوى فاننا نفاضل معادلة (12) بالنسبة V $\frac{dP}{dV}$

$$\frac{dP}{dV} = o = \left[Is - Io \quad e^{eVm/KT} + Io\right] + Vm\left(-\frac{eIo}{KT} \ e^{eVm/KT}\right)$$

$$\frac{Is}{Io} + 1 = \left(\frac{eVm}{KT} + 1\right) \ e^{eVm/KT} = e^{eVo/KT} \qquad (13)$$

ومن العلاقة (10) نحصل على التيار الذى يعطي أقصى معدل للطاقة

$$Im = Is - Io\left(e^{eVm/KT} - 1\right) \qquad (14)$$

وبالتخلص من $e^{eVm/KT}$ من معادلة (14) مستخدمين (13) نحصل على

$$Im = \frac{eVm / KT}{1 + \frac{eVm}{KT}} \left(Is + Io \right) \qquad (15)$$

ومن هذا نصل الى القدرة القصوى " أو معدل الطاقة القصوى " للخلية .

$$Pm = Im \ Vm = \frac{\frac{eVm}{KT} \cdot Vm\left(Is + Io\right)}{1 + \frac{eVm}{KT}} \qquad (16)$$

وبما ان تيار الظلام Io أصغر بكثير من Is يمكن اختصار المعادلة السابقة لتكون

$$Pm = Im\ Vm = \frac{eVm^2}{KT} \cdot \frac{Is}{1 + \frac{eVm}{KT}} \quad (17)$$

وتبين هذه المعادلة القدرة القصوى وعلاقتها بالتيار Im والجهد Vm وكذلك المعاملات الأخرى كدرجة الحرارة .

لكن الاشعاع الشمسي الكلي الساقط على كل وحدة مساحة هو H وهو عبارة عن الفوتونات Nph الموجودة في الطيف الشمسي مضروبا في متوسط طاقة الفوتون الواحد (الساقط على وحدة المساحة) أى ان :

$$H = Nph \times Eav \quad (18)$$

لذلك يمكن تعريف كفاءة الخلية القصوى max بالآتي :

$$\eta\ max = \frac{\text{Maximum Power out put}}{\text{incident Solar radiation} \times \text{area of cell}}$$

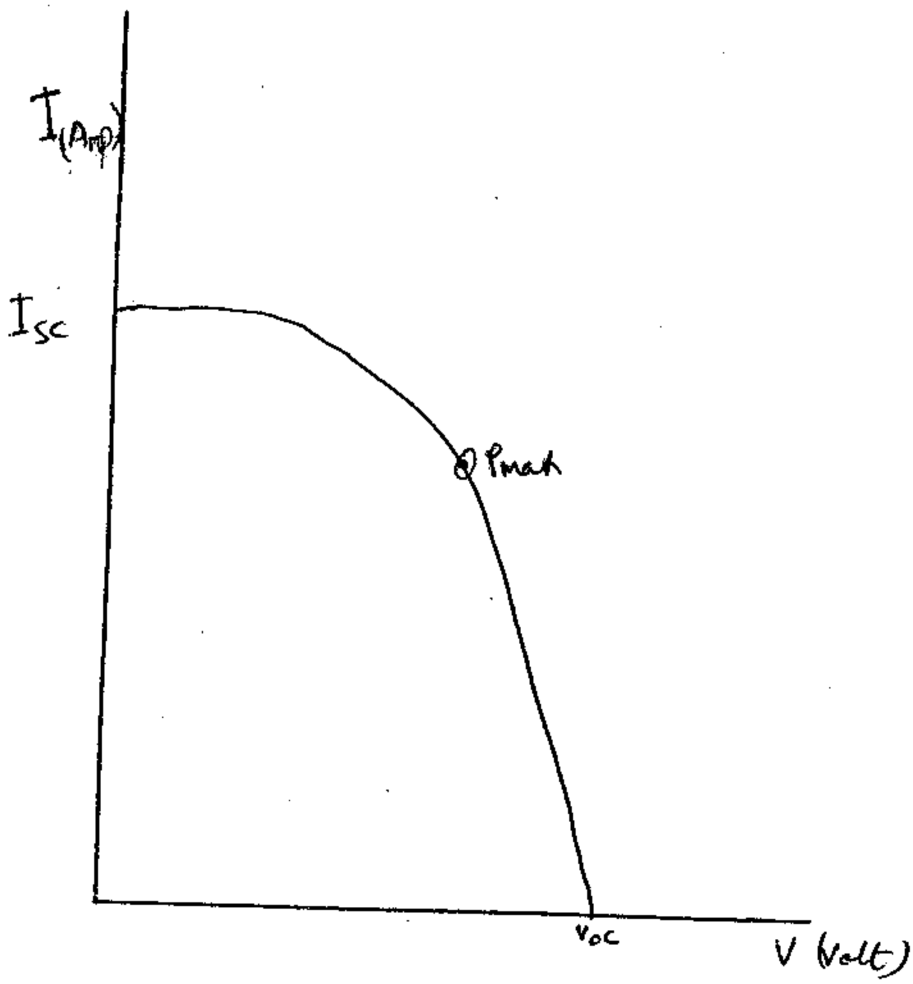
$$\eta\ max = \frac{Pm}{H \times A} = \frac{Im\ \ Vm}{H \times A} \quad (19)$$

وهذه هي معادلة كفاءة الخلية التى سنقوم بدراستها عمليا .

ويوضح الرسم (١٢) المنحنى المميز للخلية الشمسية عندما يسقط عليها الاشعاع الشمسي .

هذا ونلاحظ ان منحنى الرسم (١٢) يمثل المعادلة (10) أى علاقة التيار بفرق الجهد .

اما Pmax فانها تمثل أكبر مستطيل يمكن رسمه داخل المنحنى (انظر الرسم ١٣) .



الرسم (١٤) المنحنيات المميزة للخلية الشمسية عند سقوط الإشعاع الشمسي عليها

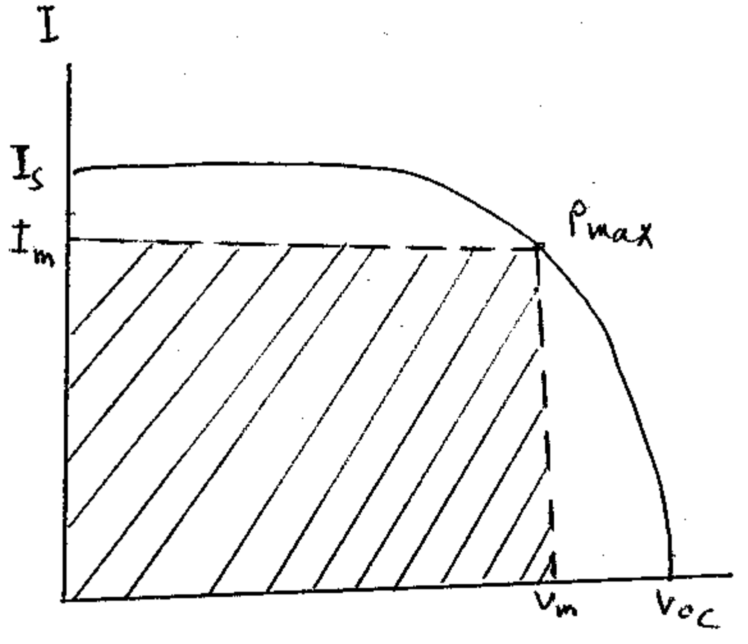
وكلما كان شكل المنحنى قريب الى شكل المستطيل كلما كانت كفاءة الخليـــة عالية وتسمى نسبة مساحة المستطيل الى المساحة تحت المنحنى أو معامــــل امتلاء المنحنى Curve Factor أو Fill Factor (C.F)

لذلك فان تعريف معامل المنحنى هو

$$C.F = \frac{P_{max}}{I_s \times V_{oc}} = \frac{I_m \; V_m}{I_s \times V_{oc}} \qquad (21)$$

ويمكن حساب هذا المعامل من الرسم (١٣) كما يمكن حساب الكفاءة القصوى η_{max} للخلية حيث

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{H \times A} = \frac{I_m \; V_m}{H \times A}$$



الرسم (١٣)

الباب الرابع

الدراسة العملية

المقدمـــــة :

لقد كان التركيز في هذه الدراسة على الخلية الشمسية المصنوعـــة من بلورة السيلكون للاسباب التالية :

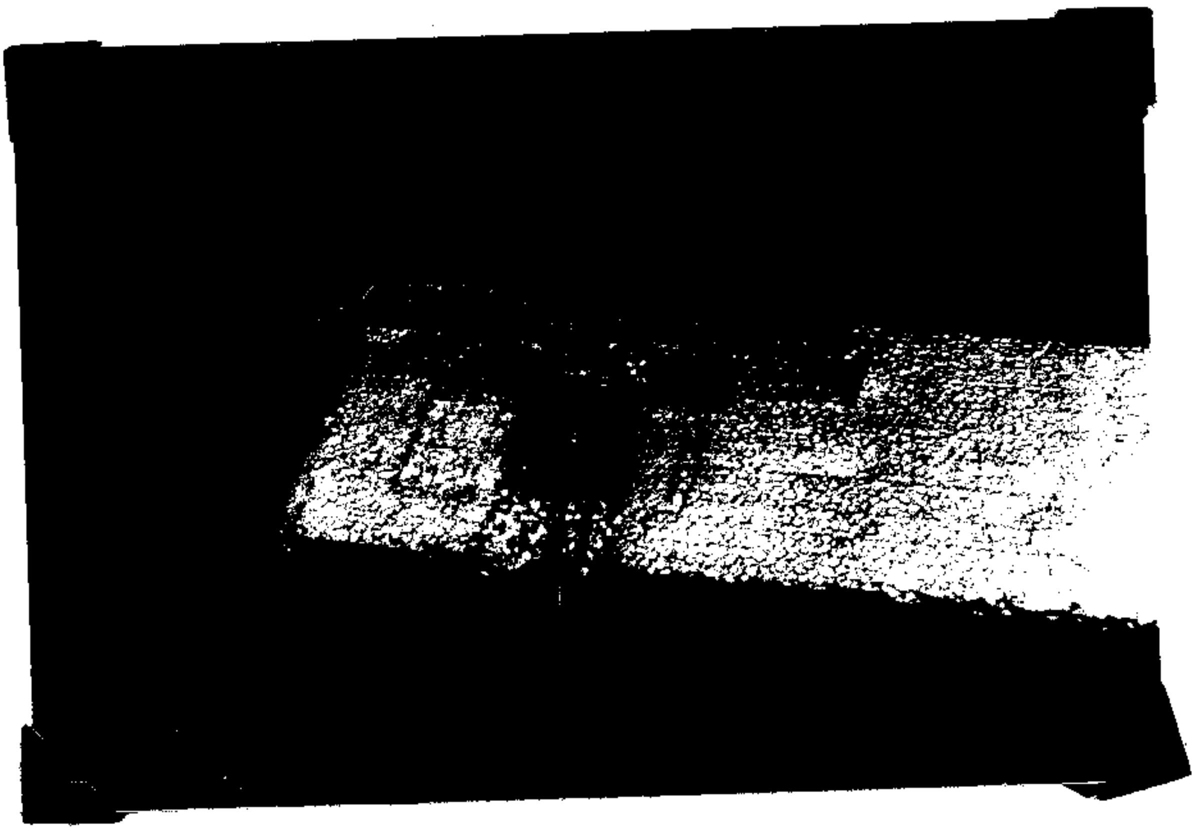
١) ان خليه السيلكون الشمسية اكثر الخلايا الشمسية تطويرا واكثرهــا تقدما من الناحية التكنولوجية .

٢) لأن خلية السيلكون الشمسية لها كفاءة عالية تزيد عن 10% ولــم تحقق هذه الكفاءة في اى نوع من الخلايا الشمسية الاخرى .

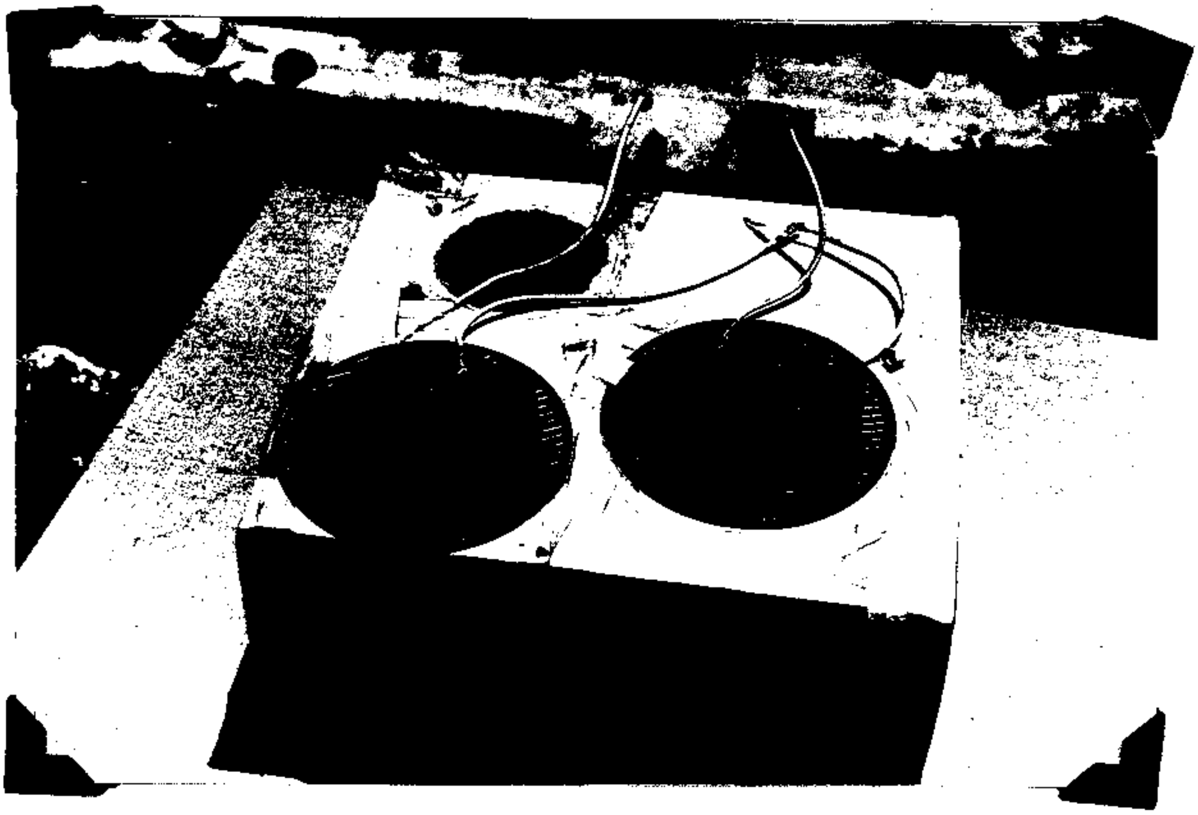
٣) لان الخلايا الشمسية متوفرة لدينا وقد تمكنا من الحصول علـــى احجام واشكال مختلفة من الخلايا (انظر الصور رقم ١ ، ٢ ، ٣) .

ولقد اهتمت الصناعة بخلايا السيلكون الشمسية لارتفاع كفاءتها رغــم الصعوبه في تصنيعها وازدياد تكاليفها لسبب آخر هو ان مادة السيلكــون متوفرة بكثرة ، اذ ان الرمال هي اكسيد السيلكون وهي موجودة بكثرة في العالم وستشمل دراستنا خلايا مربعه الشكل وخلايا مستديرة ذات مساحات مختلفـــة وسندرس أثر الشكل والمساحة على كفاءة الخلية كما سندرس طرق توصيل هــذه الخلايا (بالتوالي والتوازى) للحصول على زيادة في الجهد وزيادة فـــي التيار واثر ذلك على كفاءة الخلايا .

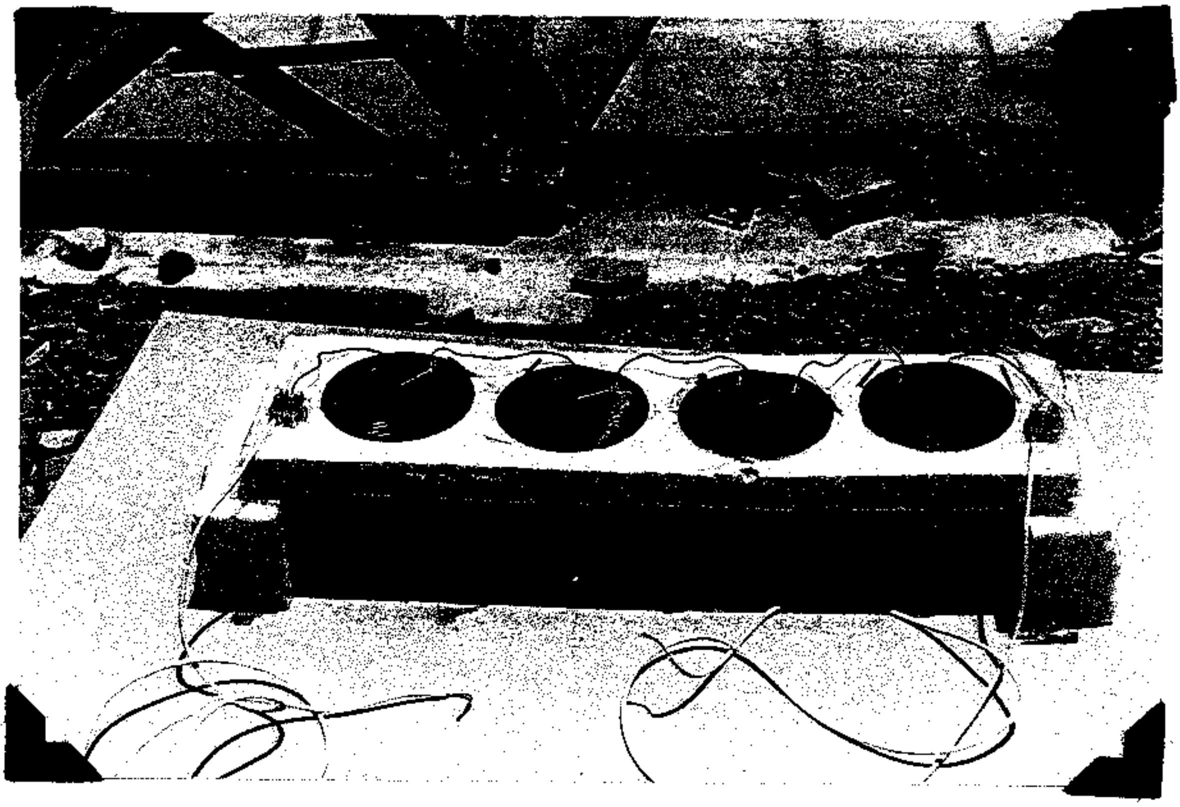
وتهدف دراستنا ايضا الى دراسة المعاملات المختلفة مثل تيار الدائـرة المغلقه I_S وجهد الدائرة المفتوحه V_{oc} والقدرة القصوى P_m والكفـاءة η ومعامل امتلاء المنحنى C.F التي جاء ذكرها في الباب السابق ومــدى تأثر هذه المعاملات بشدة الاشعاع H الساقط عليها كما سندرس اثر الارتفـاع لدرجه حرارة الخلية على هذه المعاملات واذا سمح الوقت سنتعرض لموضـــوع



صورة رقم -١٠-



صورة رقم -٢-



صورة رقم -٣-

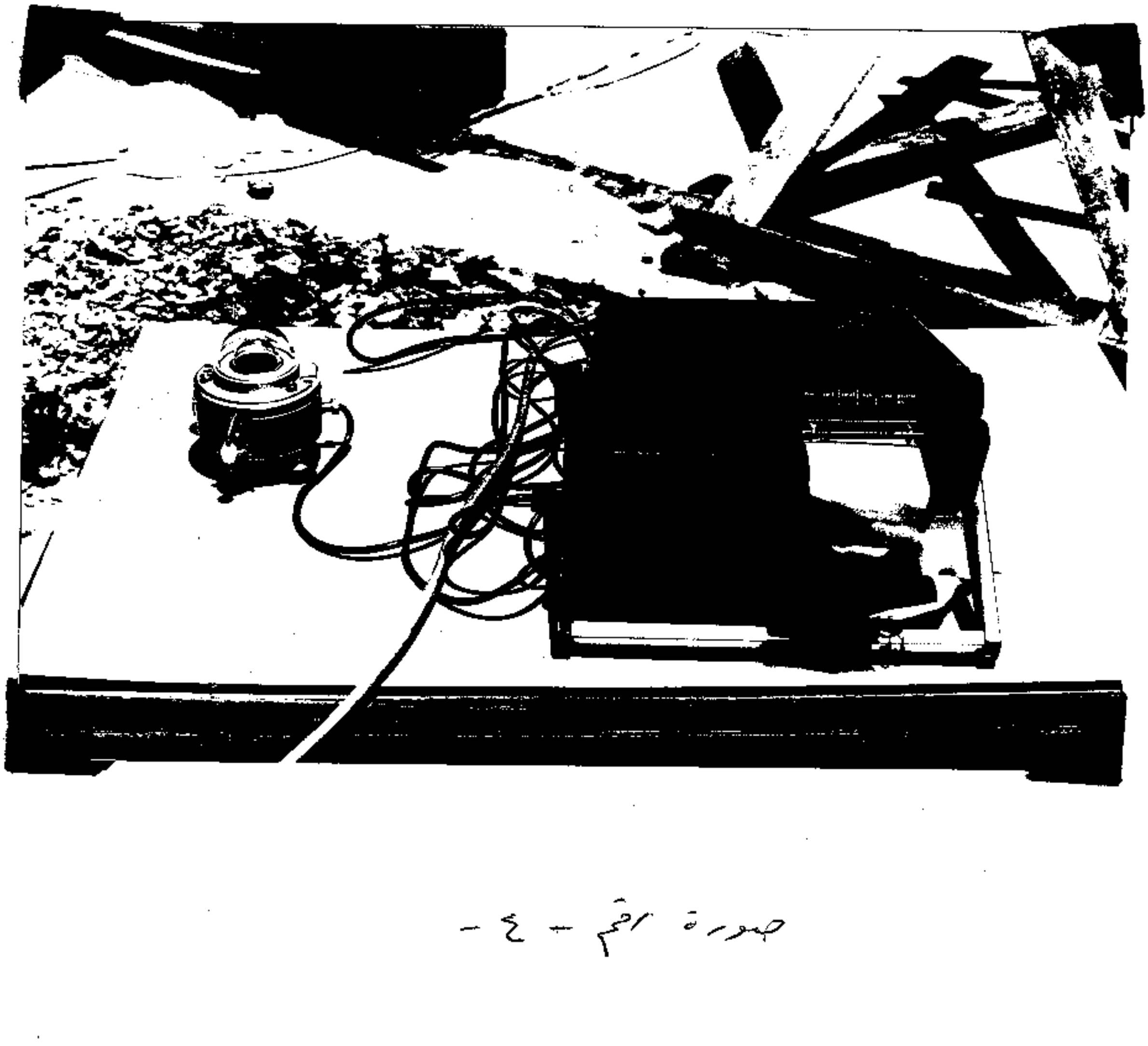
سقوط الظل على بعض الخلايا بينما تتعرض الخلايا الاخرى لأشعة الشمس وهذا الموضوع له أهمية من الناحية العملية لان الخلايا الشمسية عادة توصل فى شكل مصفوفات ذات مساحة واسعة فى عمل المولدات الكهربائية وقد يحدث ان تتعرض بعض الخلايا لسقوط الظل عليها (اما من السحب او حائط او شجرة الى غير ذلك) وقد يؤدى هذا الى اختلال عمل المصفوفات .

٢) طريقة قياس الاشعاع الشمسى .

اى دراسة عملية لاستغلال الطاقة الشمسية تتطلب قياس ومعرفة الاشعاع الشمسى الذى يسقط على الجهاز المستخدم .

وفى الدراسة العملية التى قمنا بها كانت الخلايا موضوعة فى كل الاحوال فى وضع افقى وكانت تعرض للاشعاع الشمسى الكلى . golebal radiation ومن الصعوبات التى كنا نواجهها ان الاشعاع الشمسى يتغير من لحظة ألى اخرى فى المكان الواحد ولذلك كان لابد من اجراء اى تجربه فى اقصر وقت ممكن وحساب ذلك الوقت التى تجرى فيه التجربة وايجاد متوسط الاشعاع الساقط فى تلك الفترة فى يوم لا توجد فيه غيوم ، وقد استخدمنا لقياس الاشعاع الشمسى الساقط على السطح الافقى جهاز Pyranomtor المصنوع بواسطه شركة Kipp & Zonen (انظر الصورة الفوتوغرافية رقم٤)

يستخدم البرانومتر مجموعة مزدوجات حراريه تعرف بالثرموبايل (Thermopile) توصل بعض اطرافها بسطح اسود قادر على امتصاص الاشعاع الكلى الساقط ويوصل الطرف الاخر بسطح معدنى يعكس الاشعاع الشمسى ويحتفظ ببرودة الهواء المحيط بالجهاز فيحدث فرق جهد (قوة دافعة كهربية) نتيجة للفرق فى

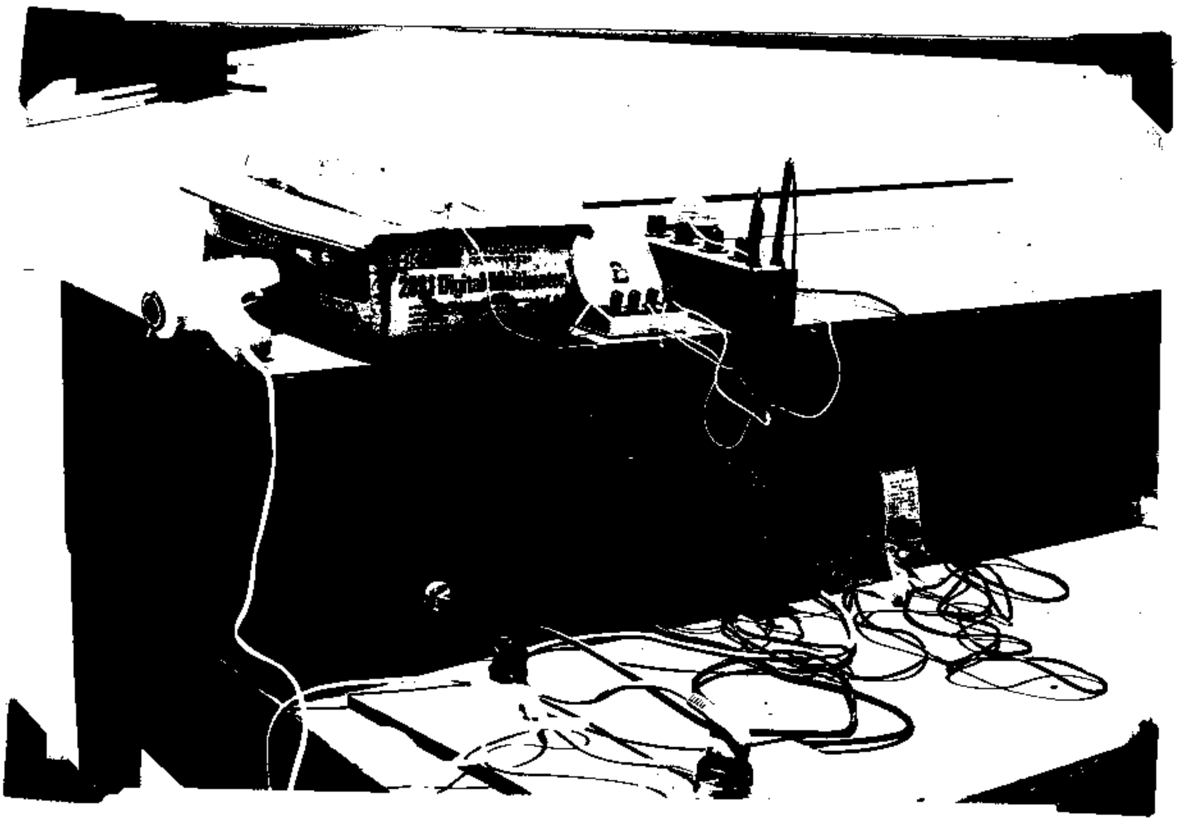


صورة رقم - ٤ -

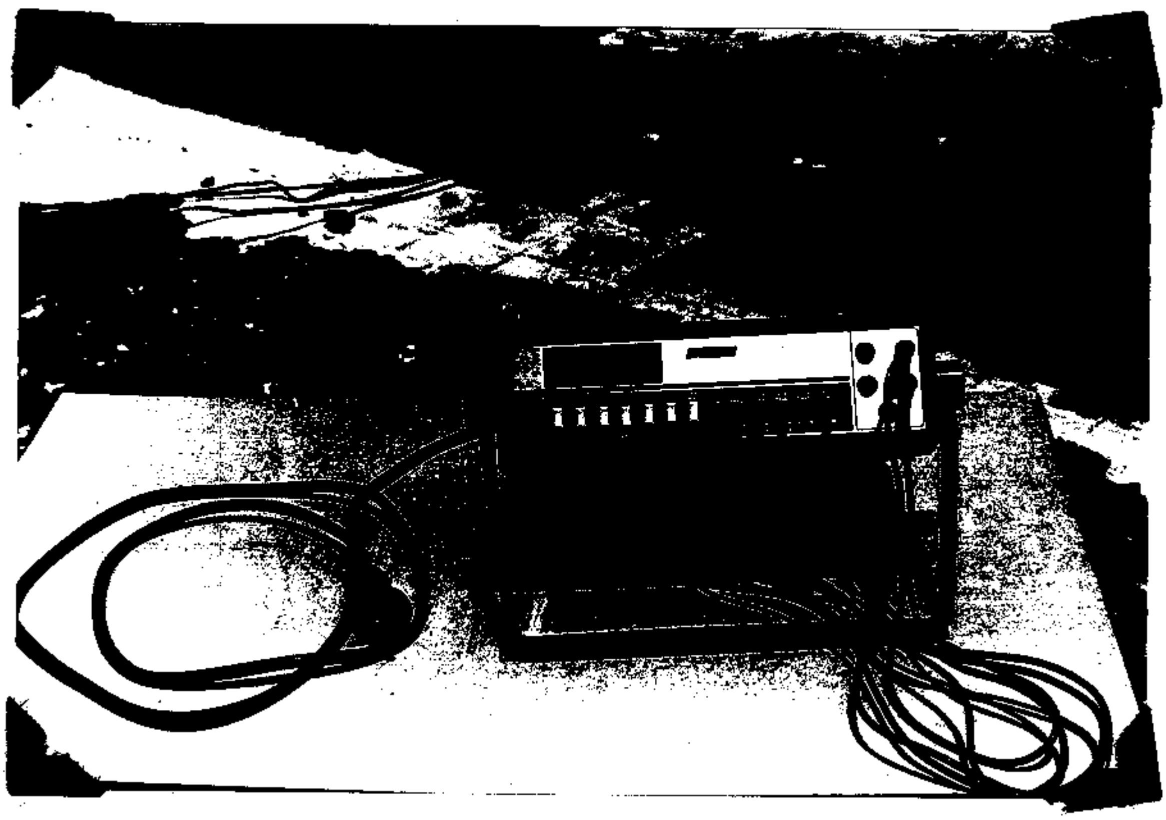
درجات حرارة الاطراف الموصلة بالسطح الاسود والاطراف الموصلة بالسطح المعدنى ويعطى فرق الجهد المضروب فى التيار الذى يمر فى الدائرة الكهربائية مقدار معدل الطاقة التى تتولد فى كل ثانية ويوصل جهاز البرنومتر بجهاز الكترونى يقوم بتجميع الاشارات الكهربيه للفترات الزمنيه المطلوبه وعن طريق المعايره يتم تحويل المعلومات الى وحدات مثل وحدة واط ساعة لكل متر مربع ويمكن ابراز هذه المعلومات رقميا على شاشه الجهاز الالكترونى او طبعها على شريط من الورق وبما أن الجهاز الذى استخدمناه كان يعطى قياسات الاشعاع H بواحدات واط ساعة لكل متر مربع فقد كنا نضرب قياسات الاشعاع فى الفترات الزمنيه القصيره فى المعامل المناسب لتحويلها لتلك الوحده .

٣) الدوائر الكهربيه للحصول على المتحنيات المميزة للخليه :

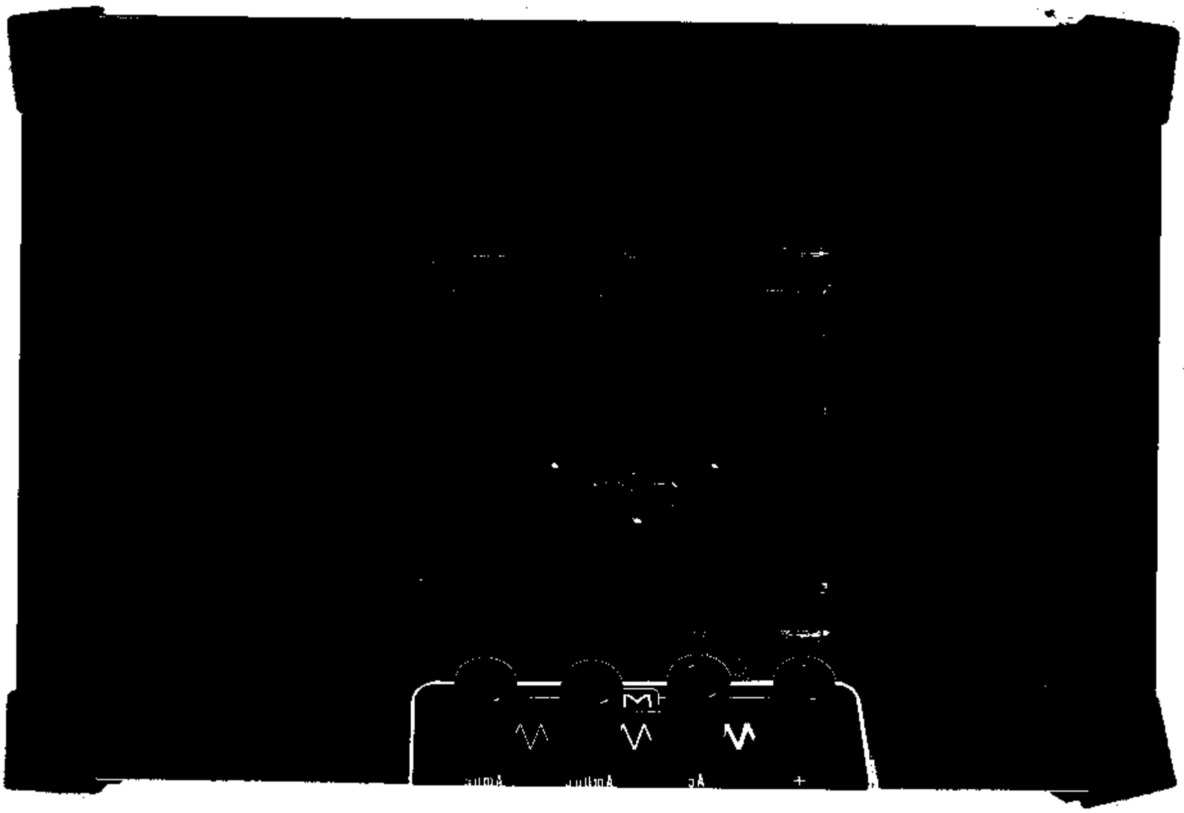
يوضح الشكل (١٣) الدائره الكهربيه (انظر الصوره رقم ٥) التى استخدمناها لقياس تغير I الذى يمر فى مقاومه متغيره R (صندوق مقاومات) وتغير الجهد V بين طرفى تلك المقاومة عند سقوط اشعاع معين .
ولقياس الجهد استخدمنا فولتميتر /رقمى "B&K PRECISION DYNASCAN 2831" DIGITAL VOLTMETER (انظر الصوره رقم ٦) واستخدمنا أميتر لقياس التيار (5A) (انظر الصوره رقم ٧) وبما ان تيار الدائره المغلقة I_s يجب ان يقاس عندما يكون الجهد V قريبا من الصفر فقد كان الامر يحتاج الى دقه فى قياس الجهد مع استخدام مقاومات صغيره جدا فى حدود 0.2 Ω (انظر الصورة الفوتوغرافية للاجهزه المستخدمه) .



صورة رقم -٥-



صورة رقم ٦



صورة رقم -٧-

وبما ان لمقياس التيار الاميتر مقاومه فليس من الممكن قياس I_s بهذه الطريقة الا بعد رسم المنحنيات وتمديد المنحنى حتى يقطع محو التيار I (انظر الرسم البيانى) .

٤) تثبيت درجه الحراره :

فى معظم التجارب التى اجريناها كان لابد من محاوله تثبيت درجه حراره الخليه ذلك لان معاملات الخليه تتغير بتغير درجه الحراره وقد استخدمنا مروحه لتمرير الهواء البارد عند اسفل الخليه لتبريدها ، وكنا نسجل درجه حراره الخليه بواسطه ترمومتر زئبقى ملتصق بظهر الخليه ومغطى بقصدير يهدف تكبير المساحه من ظهر الخليه التى تؤثر على الترمومتر .

٥) خطوات التجارب :

وللحصول على المنحنيات المميزه لاى خليه او مجموعه من الخلايا كنا نتخذ الخطوات التالية :

١) تسجيل قراءات البرانومتر الذى يبدأ تشغيله قبل بداية التجربه وعند بداية التجربه نسجل مقدار الاشعاع الشمسى H_I وزمن بداية التجربة t_1 بضغط الزر الذى يعطى هذه المعلومات اتوماتيكيا مسجلة على شريط من الورق .

٢) تسجيل درجه حرارة الخلية T_1 عند البدايه .

٣) تسجيل تيار الدائرة المغلقه I_s عندما تكون المقاومة اصغر ما يمكن $R=0$ وكذلك تسجيل جهد الدائره المفتوحه V_{oc} عندما تكون المقاومة $R=\infty$.

٤) تغير المقاومه واخذ القراءات للتيار I والجهد المقابل V مع تسجيل قيمة R من باب الاحتياط (انظر الجداول) .

٥) وعند نهاية القراءات تأخذ قيم تيار الدائره المغلقه I_s عندما $R=0$ وجهد الدائرة المفتوحه V_{oc} مره أخرى بهدف الحصول على المتوسط .

٦) نسجل درجه الحراره T_2 فى نهايه القراءات لاخذ المتوسط من T_1 و T_2 .

٧) تسجيل الاشعاع H_2 والزمن t_2 عند نهايه التجربه وذلك بضغط زر البرانومتر الذى يعطى هذه المعلومات .

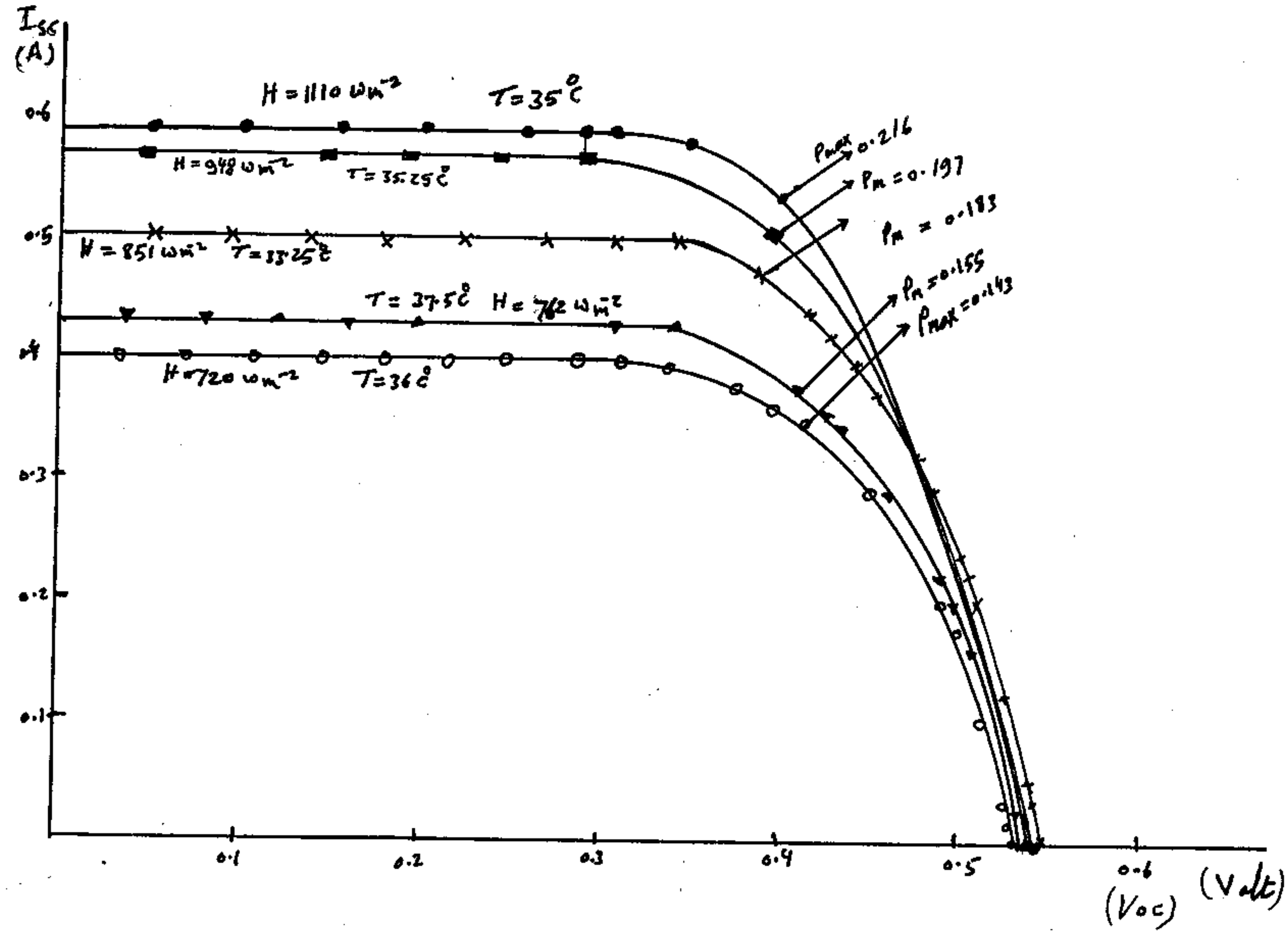
٨) حساب متوسط الاشعاع الساقط على الخليه او الخلايا فى هذه الفتره الزمنيه $t_2 - t_1$ من المعادله

$$H = \frac{H_1 - H_2}{t_1 - t_1} \times 60$$

للحصول على قيمه H بوحدات واط ساعه لكل متر مربع .

٦) دراسة المنحنيات المميزه ومعاملات خلايا مختلفه من السيلكون :

أ ـ دراسه خليه مربعه مساحتها ($25\ Cm^2$) وخليه مستديرمساحتها ($80.1Cm^2$) تبين الجداول (انظر الجداول الخلفيه) القراءات التى اخذناها بأستخدام الخليه المربعه مساحه ($25Cm^2$) ويبين الجداول (انظر الجداول الخلفيه) القراءات التى اخذناها بأستخدام الخليه المستديره مساحتها ($80.1Cm^2$) ومن هذه القراءات توصلنا الى المنحنيات المميزه لكل خليه والموضحه فى شكل (١٤)



شكل (١٤) المنحنيات المميزة للخلية الشمسية المربعة ومساحتها 25cm²

والشكل رقم (١٥) على التوالى ومن هذه المنحنيات توصلنا الـــــى استنتاج Isc ، Voc وتغيرهما مع H بالنسبة لكل خليـــــه كما توصلنا الى حساب القدره القصوى Pmax والكفاءة القصوى η لكـل خليه وتغير هذه المعاملات مع شدة الاشعاع ، ويوضح الرسم البيانـى شكل (١٦) تغير I_{sc} مع H ويوضح الشكل (١٧) علاقـة Voc مع H بالنسبة للخليتين وواضح من هذا ان Isc يزيد كلمـــــا زادت مساحة الخلية بينما لا يتأثر Voc بزيادة مساحة الخلية وفـى الحالتين يزيد Isc كلما زاد الاشعاع الساقط H بينما يظل Voc ثابتا ويتضح من حساب الكفاءة η لكل خليه النتائج التالية :ـ

يوضح الشكل (١٨) تغير القدره القصوى Pmax مع الاشعاع حيـــث ان القدرة تزيد مع H بطريقة غير خطيه ويمثل الترابط الاحصائـــى بين Pmax ، H نحصل على المعادله التاليه للخليه المربعه صغـــيرة المساحة ($25\ Cm^2$)

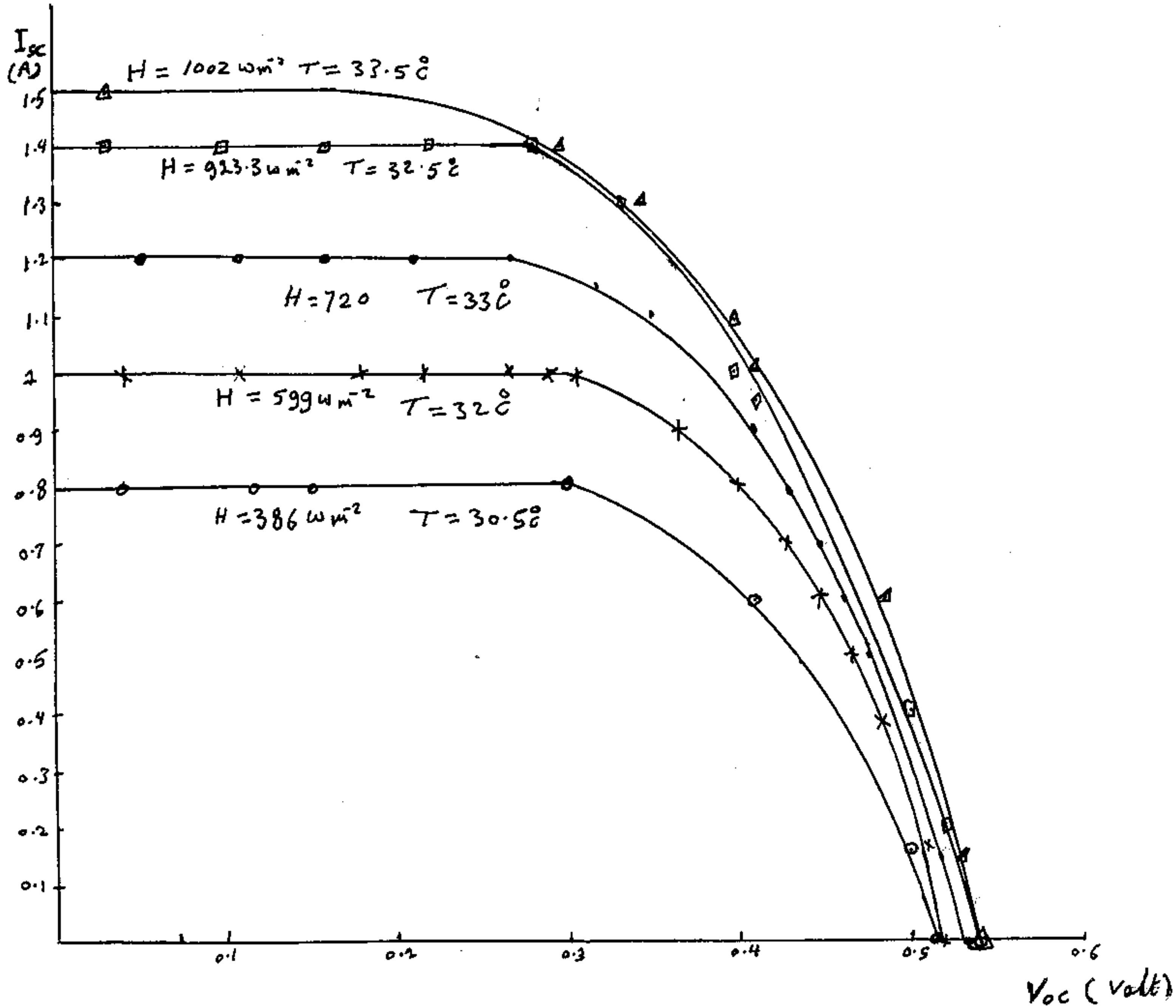
$$Pmax = -0.97 + 0.17 \ln H$$

ومعامل الترابط Correlation Coefficient r=98.5%

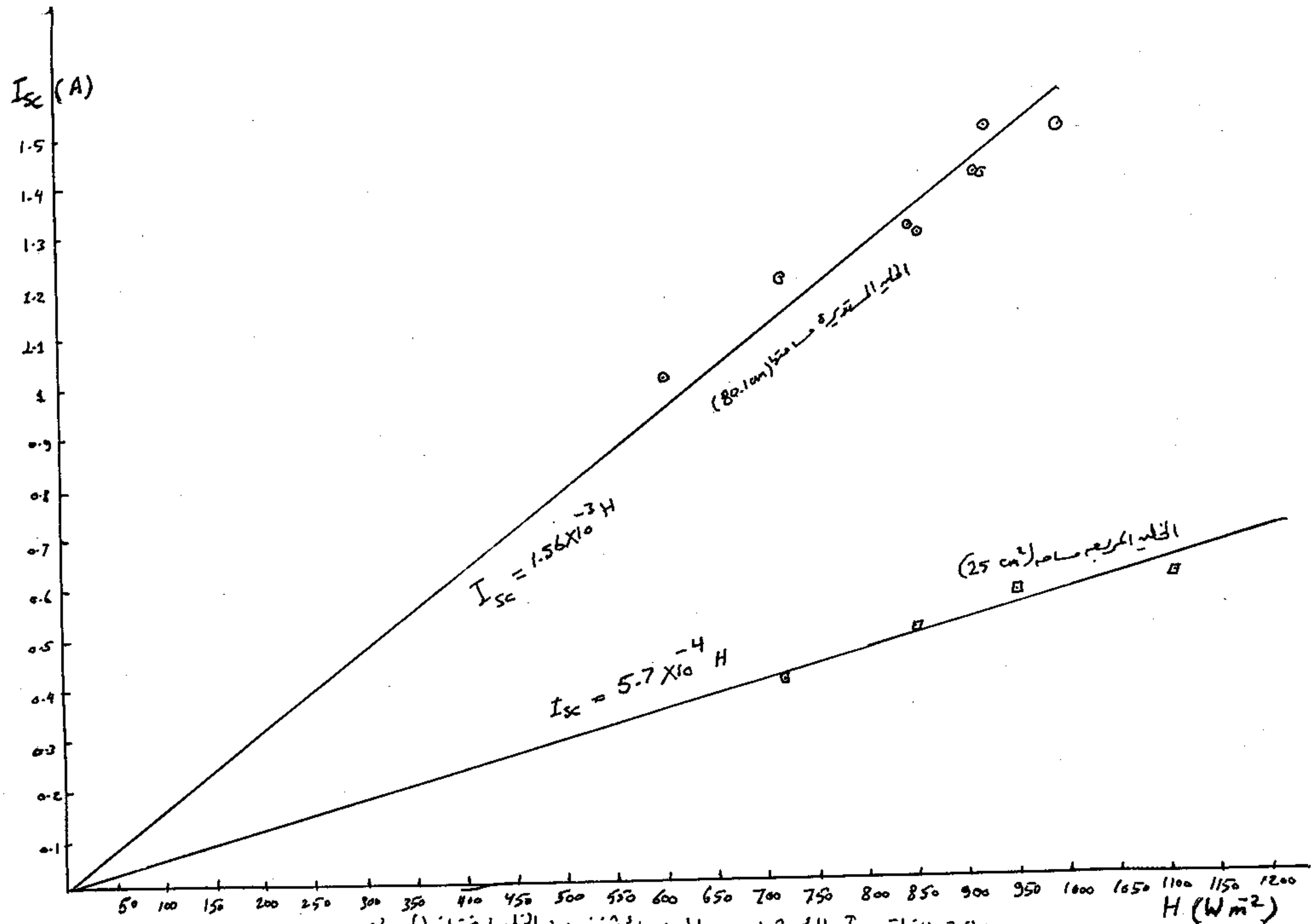
والمعادلة التاليه للخليه المستديره كبيره المساحه ($80.1 Cm^2$)

$$Pmax=-0.89+0.193 \ln H$$

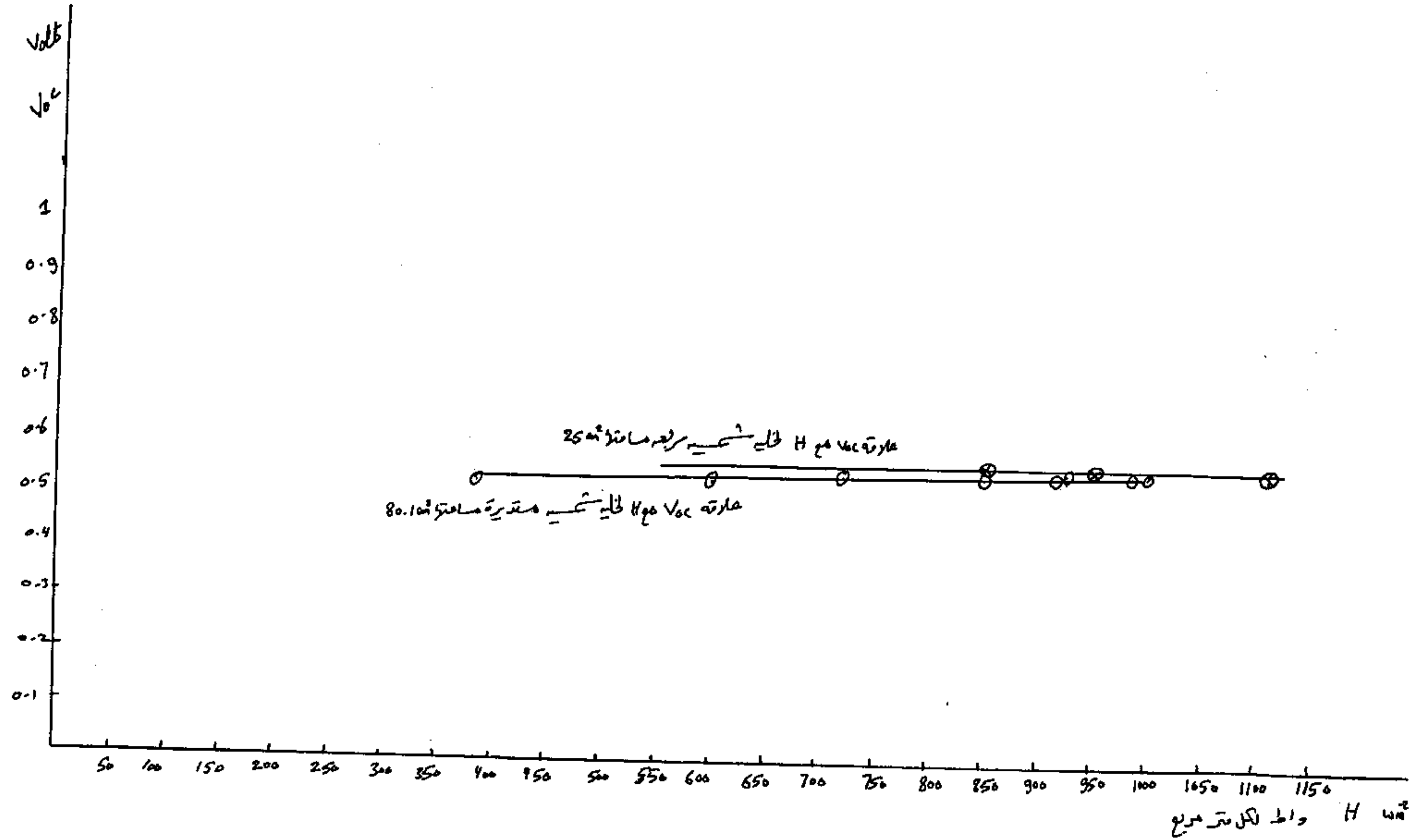
$$r = 99.3\ \%$$



شكل (١٥) المنحنيات المميزة لخلية شمسية مستديرة قطرها (10.1 cm) ومساحتها 80.1 cm²



شكل (16) علاقة تيار الدائرة المغلقة I_{sc} بالإشعاع الساقط H للاثنين من الخلايا مختلفة المساحة



شكل (١٧) علاقة Voc مع H لخلية مربعة مساحتها 25 سم² ولخلية مستديرة مساحتها 80.1 سم²

وواضح من الشكل (١٨) ايضا القدرة القصوى للخليه المربعه الصغيرة عند ما يكون H الف واط لكل متر مربع تصل الى Pmax =0.2 W بينما تكون قدرة الخليه الكبيرة المستديرة عند الف واط لكل متر مربع

Pmax = 0.88 W

لكن الجدول رقم (١) يوضح ان متوسط معامل امتلاء المنحنى C.F للخليه الصغيرة المربعة هو C.F = 0.659 وان متوسط الكفاءة القصوى للخليه الصغيرة المربعة هى η =8.14 % بينما يكون متوسط معامل امتلاء المنحنى للخلية الكبيرة المستديرة هو C.F = 0.599 بينما يكون متوسط الكفاءة القصوى للخلية المستديرة الكبيرة η = 6.58 % اى ان الخليه الصغيرة اكثر كفاءة من الخليه الكبيرة ويوضح الجدول (١) ايضا ان كفاءة الخلية (خاصة الخلية الكبيرة تتناقص كلما زادت H .

٧ـ دراسة المنحنيات المميزة ومعاملات خلايا موصلة بطرق مختلفة :

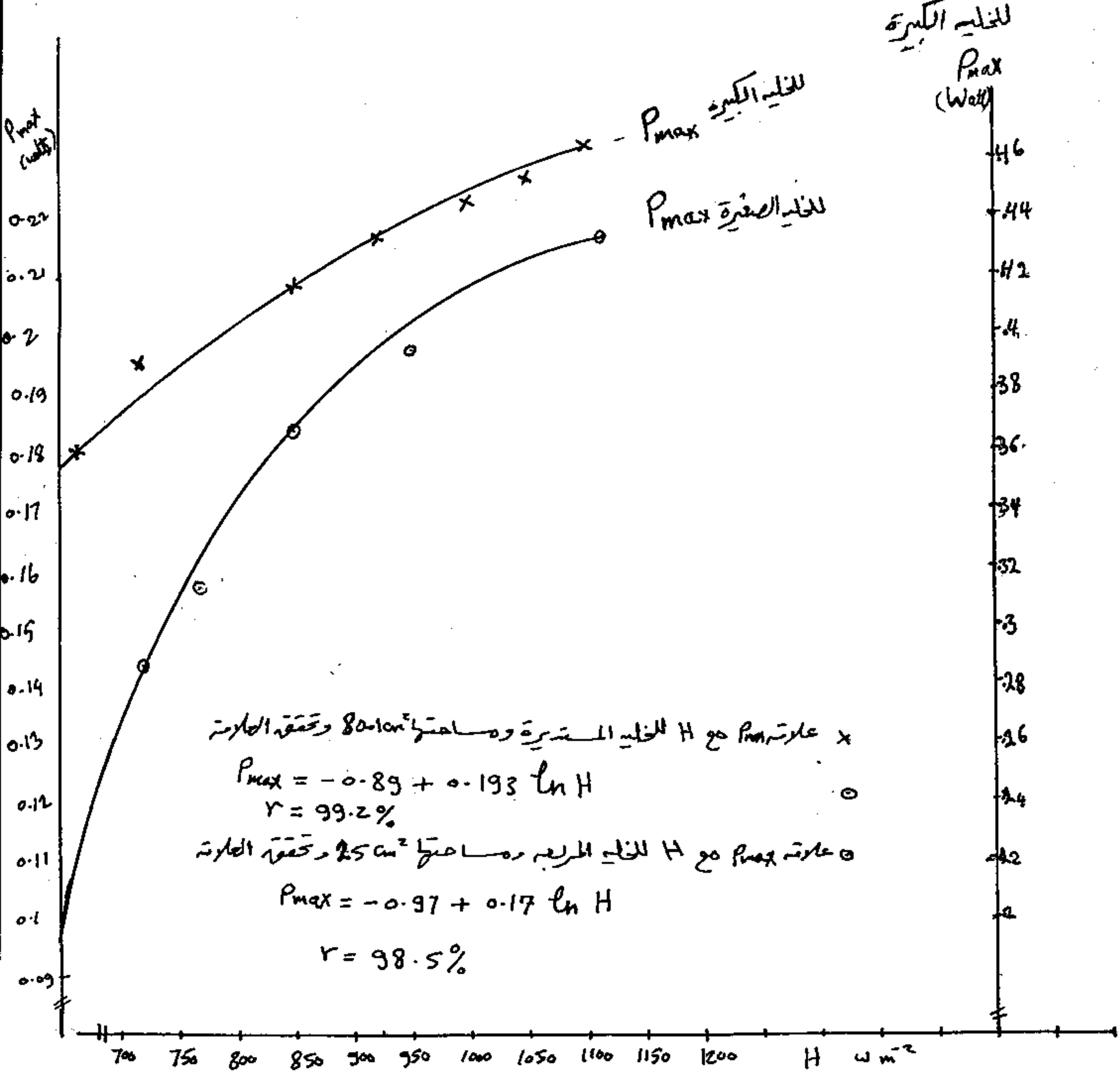
قد بدءنا الدراسة بتوصيل اثنين من خلايا السيلكون المستديرة مساحة الواحد $80.1\ Cm^2$ وتبين الجداول القراءات التى اخذناها بنفس الطريقة المذكورة سابقا ، ويوضح الشكل (١٩) المنحنيات المميزه لهذه الخليتين عند تعرضها لكميات متفاوته من الاشعاع الشمسى H وقد توصلنا بنفس الطريقة المذكورة سابقا الى استنتاج المعاملات المختلفة لهاتين الخليتين وسوف نسمى هاتين الخليتين بالمجموعة الاولى ، وقد اعدنا بنفس الدراسة لاربعة خلايا مستديرة مساحة الواحدة $45\ Cm^2$ موصلة ايضا على التوالى وسوف نسميها بالمجموعة الثانية وتوضح الجداول القراءات الخلفية التى اخذناها لهذه المجموعة كما يبين الشكل (٢٠) المنحنيات المميزة للخلايا الاربعة .

جدول (١) يبين C.F معامل امتلاء المنحني، H, Pm للخلية المربعة ومساحتها $25 Cm^2$

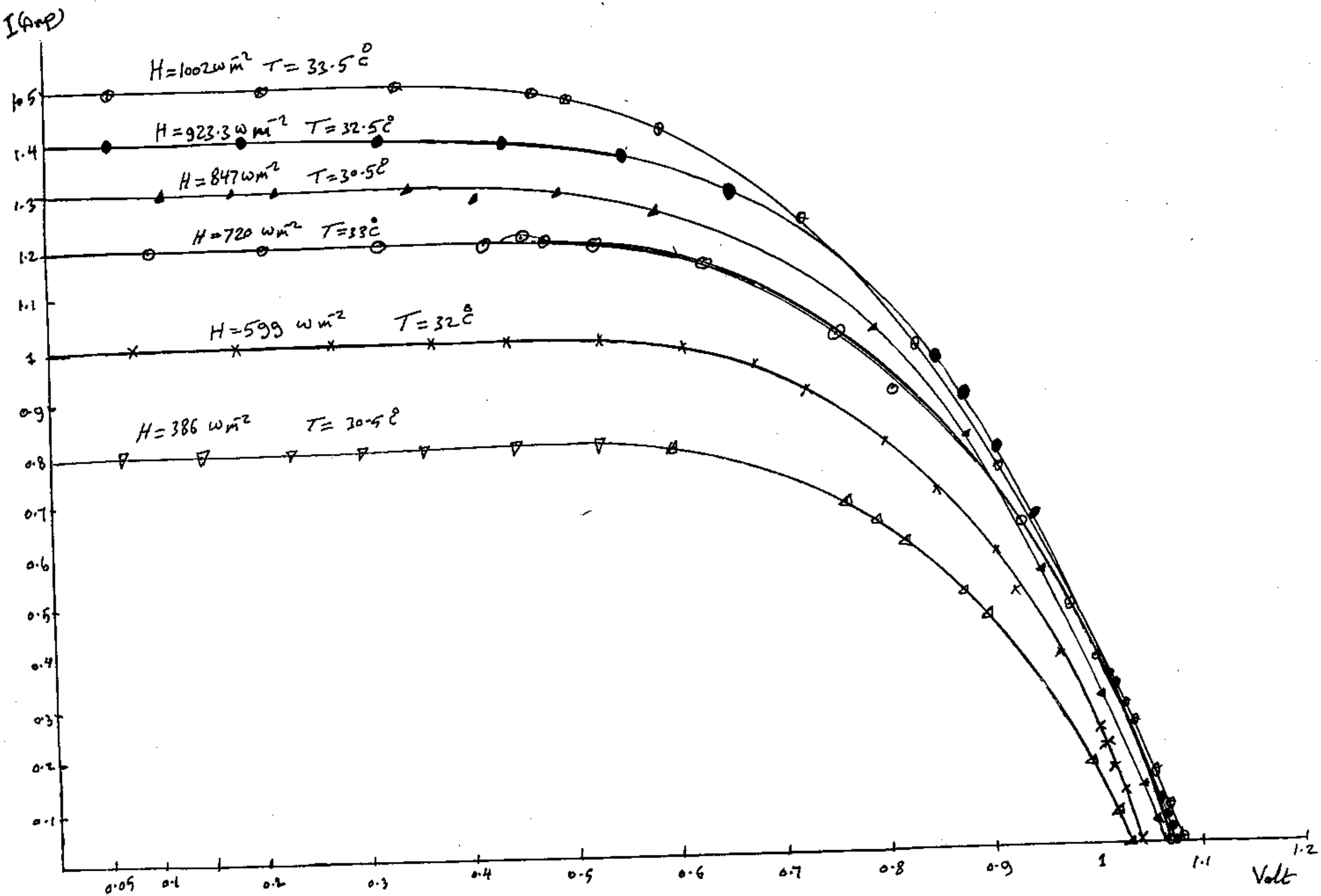
C.F	η	$H\ Wm^{-2}$	Pmax (Watt)
$C.F_1 = 0,657$	$\eta_1 = 7.8\%$	111	0.216
$C.F_2 = 0.63$	$\eta_2 = 8.3\%$	948	0.197
$C.F_3 = 0.67$	$\eta_3 = 8.6\%$	851	0.183
$C.F_4 = 0.675$	$\eta_4 = 8.1\%$	769	0.155
$C.F_5 = 0.666$	$\eta_5 = 7.9\%$	720	0.143
$\bar{C.F} = 0.659$	$\bar{\eta} = 8.14\%$		متوسط $\bar{C.F}$، $\bar{\eta}$

جدول (١) يبين C.F معامل امتلاء المنحنى ، H , Pmax للخلية المستديرة ومساحتها $80.1\ Cm^2$

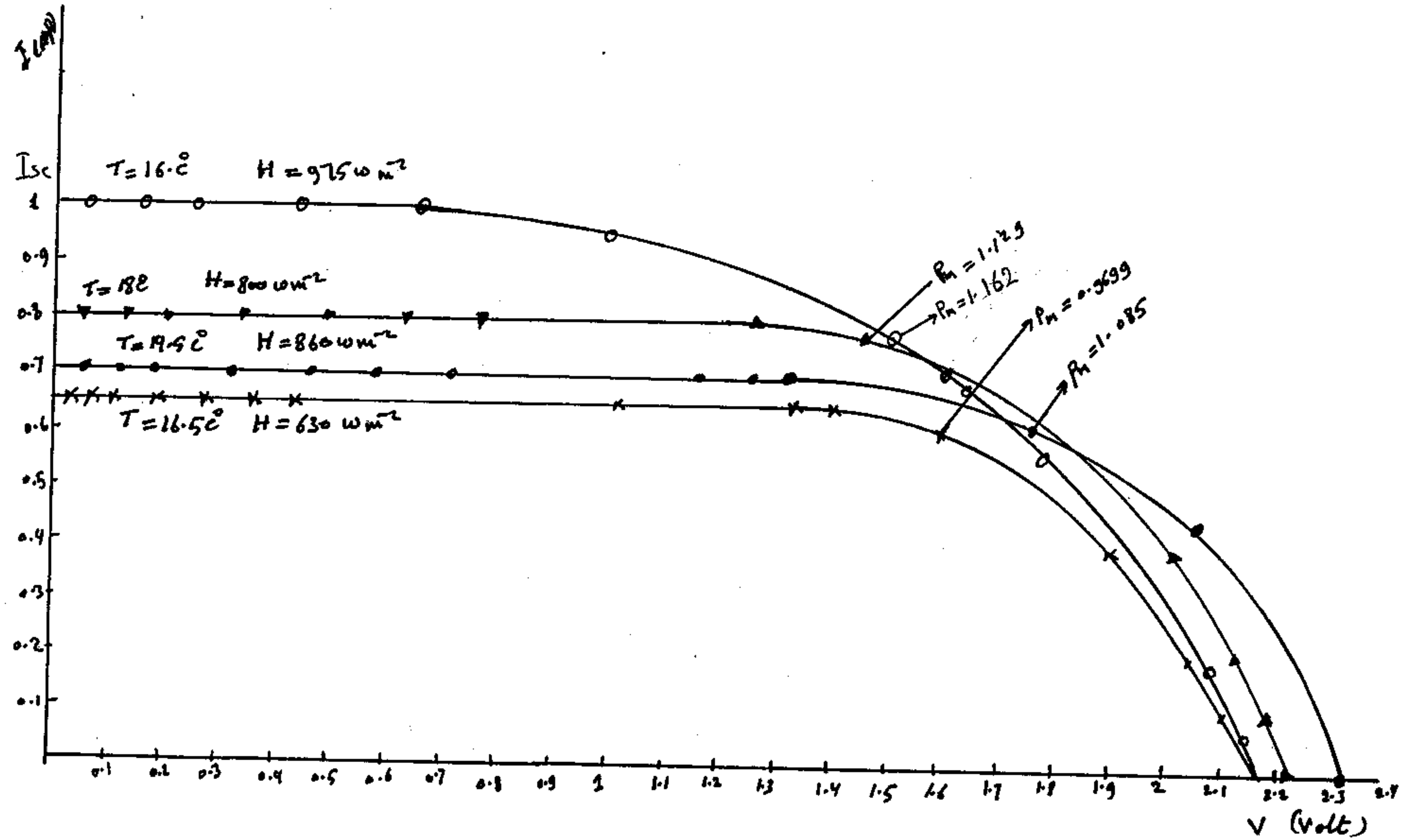
C.F	η	$H\ Wm^{-2}$	Pmax (watt)
$C.F_1 = 0.54$	$\eta_1 = 5.5\%$	1002	0.442
$C.F_2 = 0,57$	$\eta_2 = 5.8\%$	923	0.432
$C.F_3 = 0.599$	$\eta_3 = 6.1\%$	847	0.413
$C.F_4 = 0.611$	$\eta_4 = 6.7\%$	720	0.385
$C.F_5 = 0.632$	$\eta_5 = 6.8\%$	599	0.329
$C.F_6 = 0,645$	$\eta_6 = 8.6\%$	386	0.266
$\bar{C.F} = 0.599$	$\bar{\eta} = 6.58\%$		متوسط $\bar{C.F}$, $\bar{\eta}$



شكل (١٨) منحنى القدرة القصوى مع H لخلية مربعة مساحتها 25 cm²)



شكل (١٩) المنحنيات المميزة لخليتين شمسيتين موصلتين على التوالي مساحة كل خلية $80.1\ cm^2$



شكل (٣٠) المنحنيات المميزة لأربع خلايا شمسية موصلة على التوالي ومساحة كل خلية $45 cm^2$ مع ثبوت درجة الحرارة (تبريد)

ثم انتقلت دراستنا الى توصيل صفين موصلتين على التوازى وكـل صف يتكون من اربعة خلايا مستديره موصله على التوالى ومساحه كل خليـــه

وسوف نسمى هذه الخلايا الموصله على التوالى والتوازى بالمجموعـــة الثالثة ، وتوضح الجداول اخلفيها لقراءات التي اخذناها لهذه المجموعة كما يوضح الشكل (٢١) المنحنيات المميزه لهذه الخلايا عند تعريفها لمقاديـــــر مختلفة من الاشعاع الشمسى .

ومن المنحنيات المميزه توصلنا الى الاتى :

١) العلاقة بين تيار الدائرة المغلقه Isc مع H شدة الاشعاع الساقـــط علاقه خطيه لكل المجموعات كما يوضح الشكل (٢٢) ويزداد Isc بزياده H .

٢) العلاقة بين جهد الدائرة المفتوحه Voc مع H شدة الاشعاع الساقـط توضح أن Voc ثابت لا يتأثر بشدة الاشعاع كما يـوضح الشكل (٢٣) .

٣) علاقة القدرة القصوى Pmax مع شدة الاشعاع H وضعه بالنسبه لثـلاث مجموعات فى الشكل رقم (٢٤) .

وتحقق المنحنيات العلاقات التالية :ـ

أ ـ للمجموعة الاولى

$$P_{max} = -1.77 + 0.385 \ln H$$

$$r = 99\%$$

ب ـ للمجموعة الثانية

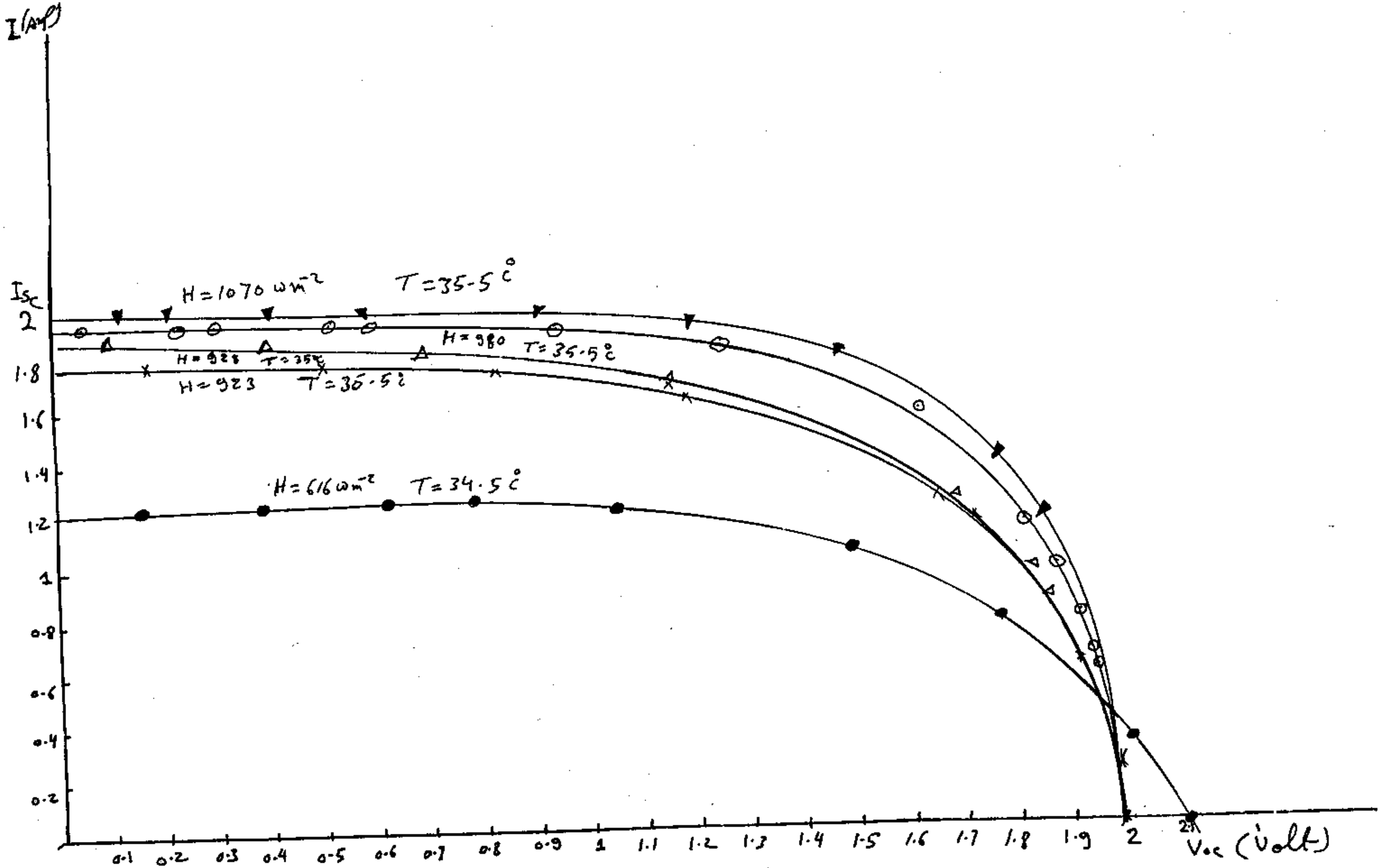
$$P_{max} = -1.09 + 0.324 \ln H$$

$$r = 83\%$$

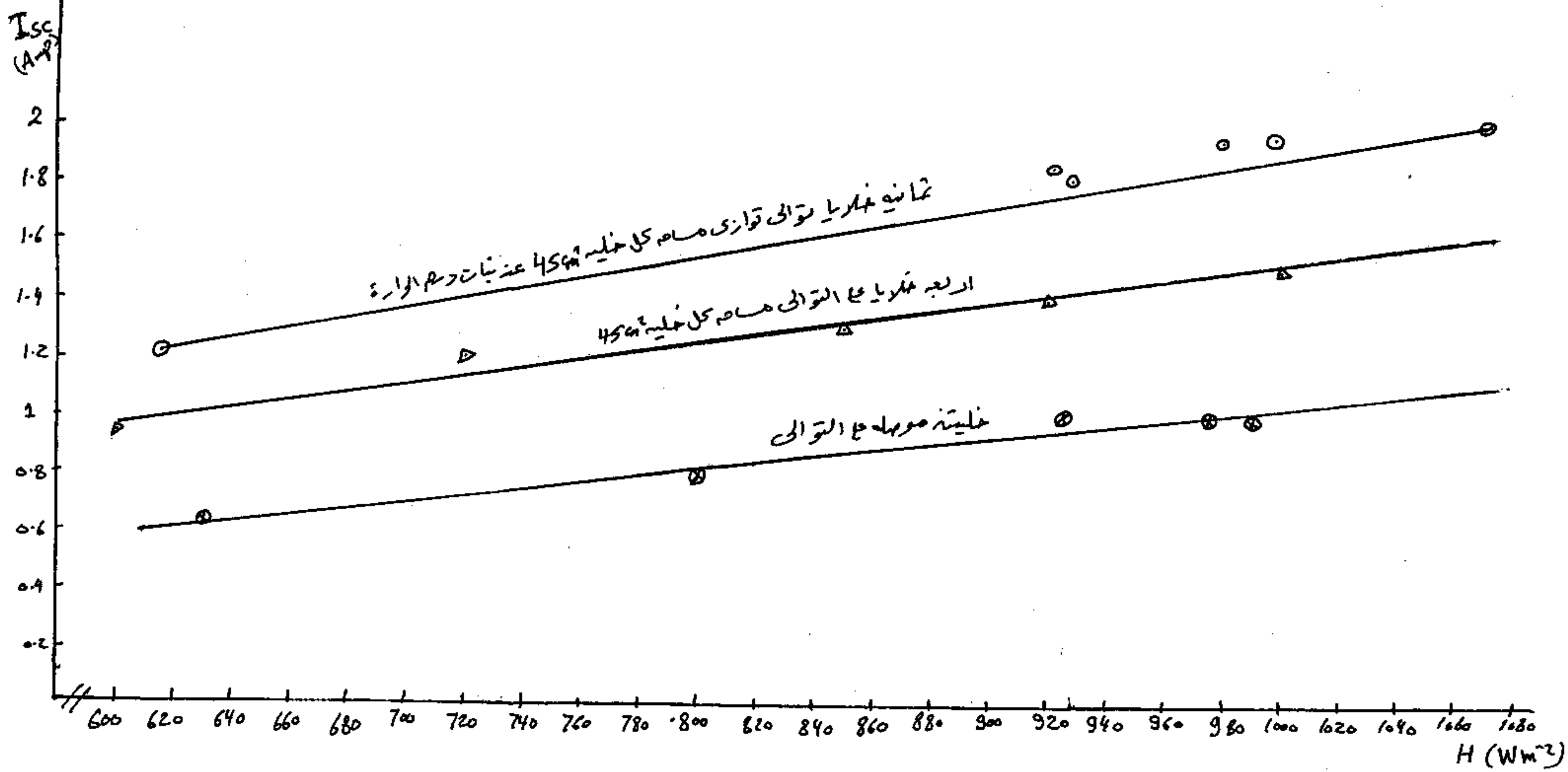
جـ ـ لل للمجموعه الثالثة

$$P_{max} = -11.7 + 2\%06 \ln H$$

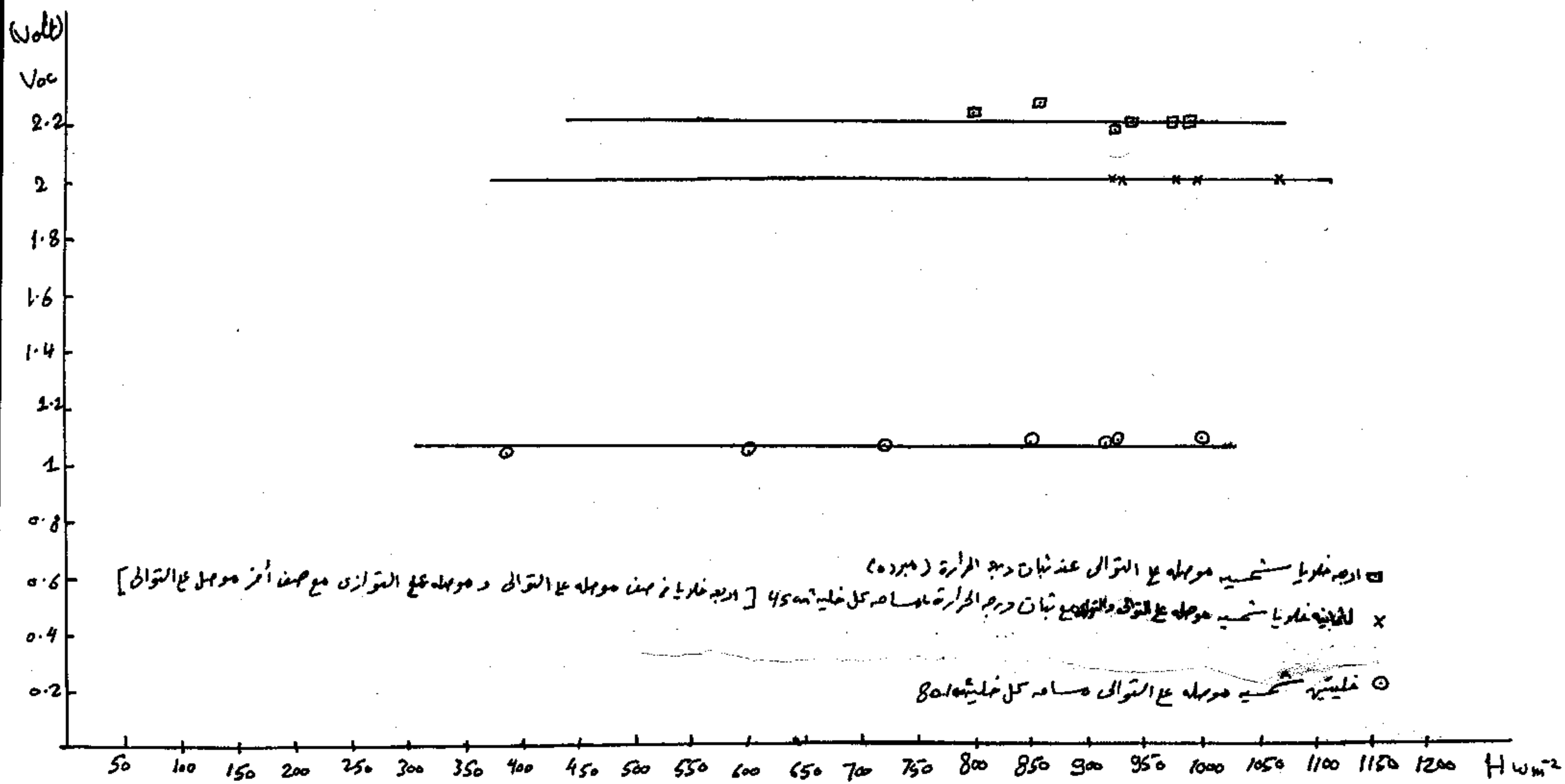
$$r = 98\%$$



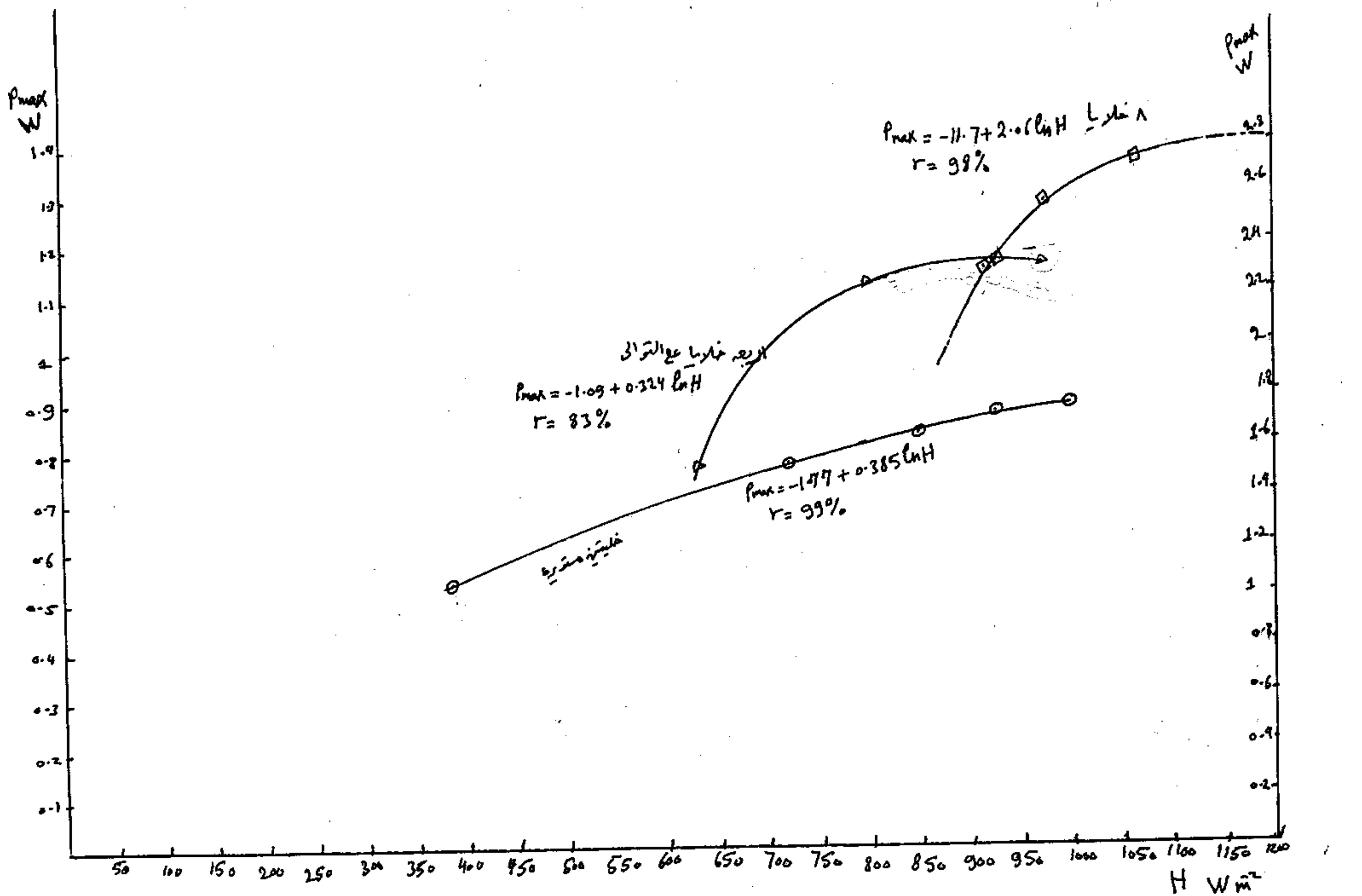
شكل (٢١) المنحنيات المميزة لثمانية خلايا في صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي مساحة كل خلية $45 cm^2$



شكل رقم (٢٢) علاقة I_{sc} مع H لثمانية خلايا في صفين كل صف به اربعة خلايا على التوالي وموصلة الصف على التوازي ،
وعلاقة I_{sc} مع H لأربعة خلايا موصلة على التوالي ، وعلاقة I_{sc} مع H لخلية موصلة على التوالي



شكل (٢٣) علاقة Voc مع H لأربعة خلايا على التوالي مبردة وموصلة على التوالي ، ولثمانية خلايا توالي توازي ومساحة كل منهم 45cm² ولخليتين على التوالي مساحة كل خلية 80cm²



(٤٢ علاقة Pmax القدرة القصوى مع H لأربعة خلايا مع التوالي مساحة كل خلية 45 cm² و ٨ خلايا مع التوالي والتوازي مساحة كل خلية 45 cm² وخلية مع التوالي مساحة كل خلية 80.1 cm²

وبالرجوع لحساب القدرة القصوى عند ما يكون الاشعاع H يساوى الف واط لكل متر مربع وحساب مساحات الخلايا فى كل مجموعة نتوصل الى التالى :–

أ – كثافة القدرة القصوى للمجموعه الاولى عند الاشعاع الف واط لكل متر مربع

$$\frac{P_{max}}{A} = 5.55 \times 10^{-3}\ Wcm^{-2}$$

ب – كثافة القدرة القصوى للمجموعه الثانية عند الاشعاع واط لكل متر مربع

$$\frac{P_{max}}{A} = 6.39 \times 10^{-3}\ Wcm^{-2}$$

جـ – كثافة القدرة القصوى للمجموعه الثالثه عند الاشعاع الف واط لكل متر مربع

$$\frac{P_{max}}{A} = 7.06 \times 10^{-3}\ Wcm^{-2}$$

٤) متوسط الكفاءة القصوى للمجموعات المختلفه .

يوضح الجدول رقم (٢) ان متوسط الكفاءه القصوى للمجموعات المختلفة هى كالاتى :–

أ – بالنسبة للمجموعه الاولى $\bar{\eta} = 0.066$

ب – بالنسبة للمجموعه الثانية $\bar{\eta} = 0.075$

جـ – بالنسبة للمجموعه الثالثه $\bar{\eta} = 0.07$

٥) ويتضح من المنحنيات المميزه للمجموعات الثلاثة شكل (١٩) (٢٠) (٢١) ان التيار Isc يتضاعف اذا ضاعفنا عدد الخلايا الموصلة على التوازى كما هو متوقع بينما يتضاعف الجهد Voc اذا تضاعف عدد الخلايا الموصلة على التوالى وهذه الملاحظة مهمة بالنسبة لتصميم مولدات الكهرباء من مصفوفات الخلايا الشمسيه .

جدول رقم ـ٢ـ

Pmax H لخليتين على التوالى ، اربعة خلايا على التوالى ، ٨ خلايا على توالى توازى

Pmax	H Wm^{-2}	80.1 Cm^2, $\eta\%$	η	لخليتين شمسية على التوالى مساحة كل منهما
0.884	1002	5.5%	0.055	
0.864	923.2	11.6%	0.116	
0.827	847	12.1%	0.121	
0.77	720	11.3%	0.1138	
0.657	599	13.6%	0.136	
0.532	386	17.2%	0.172	

Pmax	H Wm^{-2}	η	$\eta\%$	لأربعة خلايا موصلة على التوالى ومبردة مساحة كل منها $45cm^2$
1.109	975	0.063	6.3%	
1.129	800	0.0785	7.9%	
1.086	860	0.070	7%	
0.9699	630	0.085	8.5%	

Pamx	H Wm^{-2}	$\eta\%$	ثمانية خلايا على التوالى والتوازى مساحة كل منها $45cm^2$
2.749	1070	7.1%	
2.58	981	7.3%	
2.25	923	6.7%	
2.324	928	6.9%	
1.579	616	7.1%	

٨) دراسة تأثير ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلايا الشمسية :

للقيام بهذه الدراسة كنا نمرر هواء ساخنا (من استشوار) انظر الصورة رقم ٨) من اسفل الاربعة خلايا الموصلة على التوالى ، وترتفع درجة الحرارة حسب كمية الهواء الذى يمر اسفل الخلايا وعند ثبوت درجة الحرارة فى مقدار معين كنا نأخذ قراءات التيار I ، والجهد V ، والاشعاع H (انظر الى الجداول النهائيه) وبهذه الطريقة توصلنا الى المنحنيات المميزة الموضحة فى الشكل (٢٥) وتوضح هذه المنحنيات ان اكبر تأثير لارتفاع درجات الحرارة يحدث فى جهد الدائرة المفتوحة Voc ، وهذا ماتوصل اليه عدد من الباحثين من قبل ولا يتأثر Isc كثيرا بارتفاع درجة الحرارة ، ولكن بما ان شكل المنحنى المميز يتغير بعض الشئ فان ارتفاع درجات الحرارة يحدث اثرا على قدرة الخلية Pmax وعلى كفائتها η (انظر الجدول رقم (٣)) ويوضح الشكل (٢٦) العلاقة بين Voc ودرجة الحرارة T (بالدرجات المئوية ومنه توصلنا الى العلاقة التالية :

$$Voc = 2.36 - 5.74 \times 10^{-3} (^{\circ}C)$$
$$r = 97 \%$$

وفى حالة استخدام درجة الحرارة المطلقه (K)

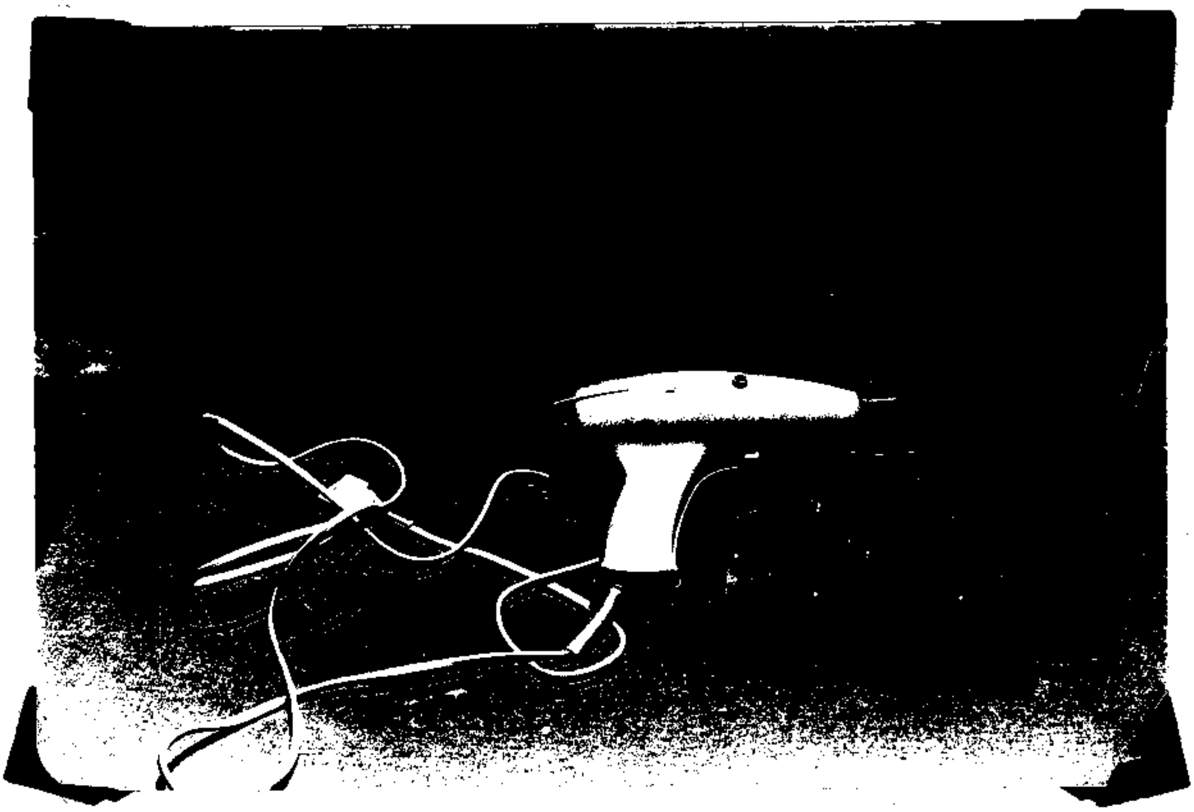
$$Voc = 3.93 - 5.74 \times 10^{-3}\ T\ (K)$$
$$r = 97 \%$$

اما بالنسبة للقدرة القصوى فان الشكل (٢٧) يوضح مقارنة علاقة قدرة

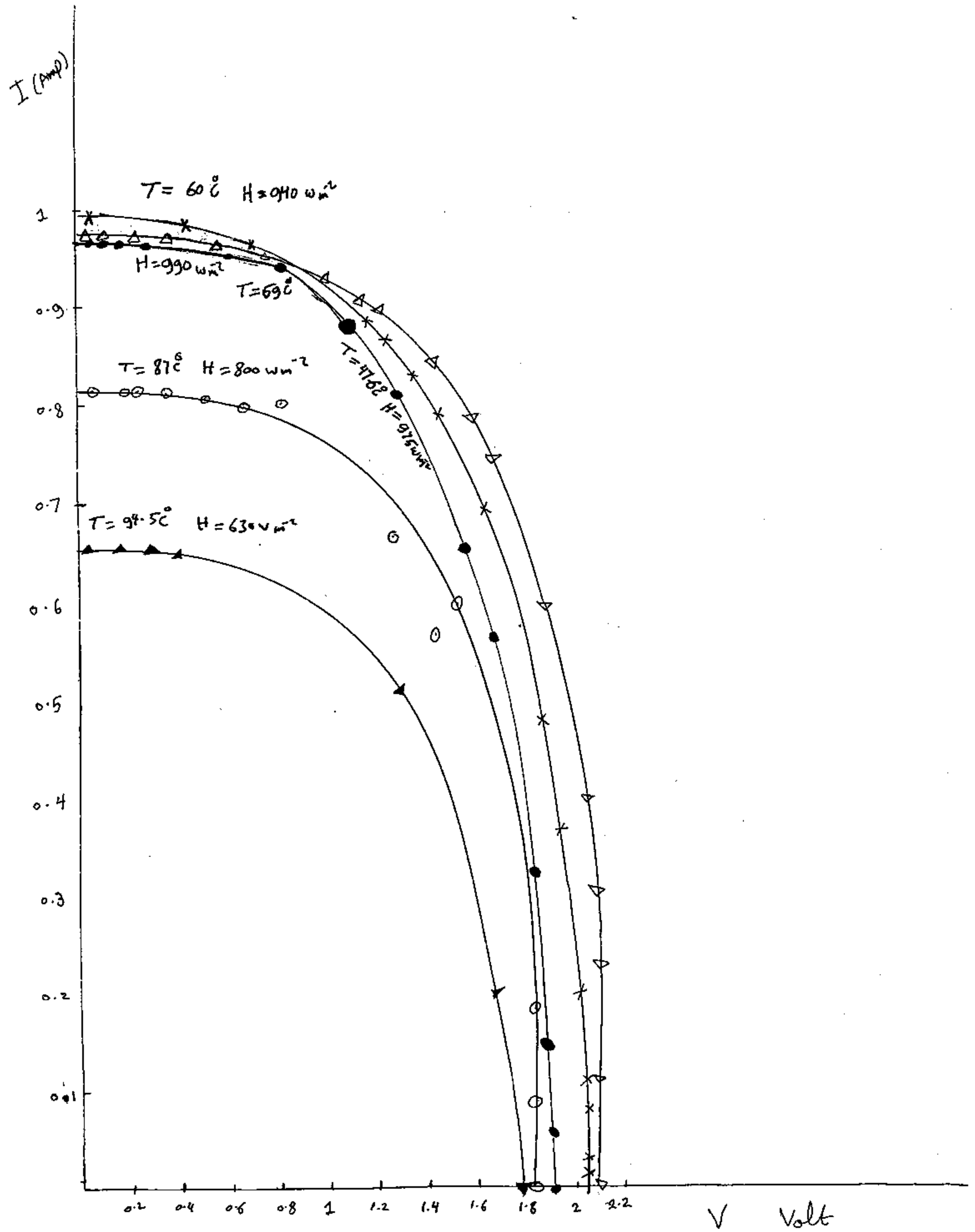
جدول رقم ـ ٣ـ

أثر ارتفاع درجات الحرارة على أداء الخلايا (لأربعة خلايا موصلة على التوالى)

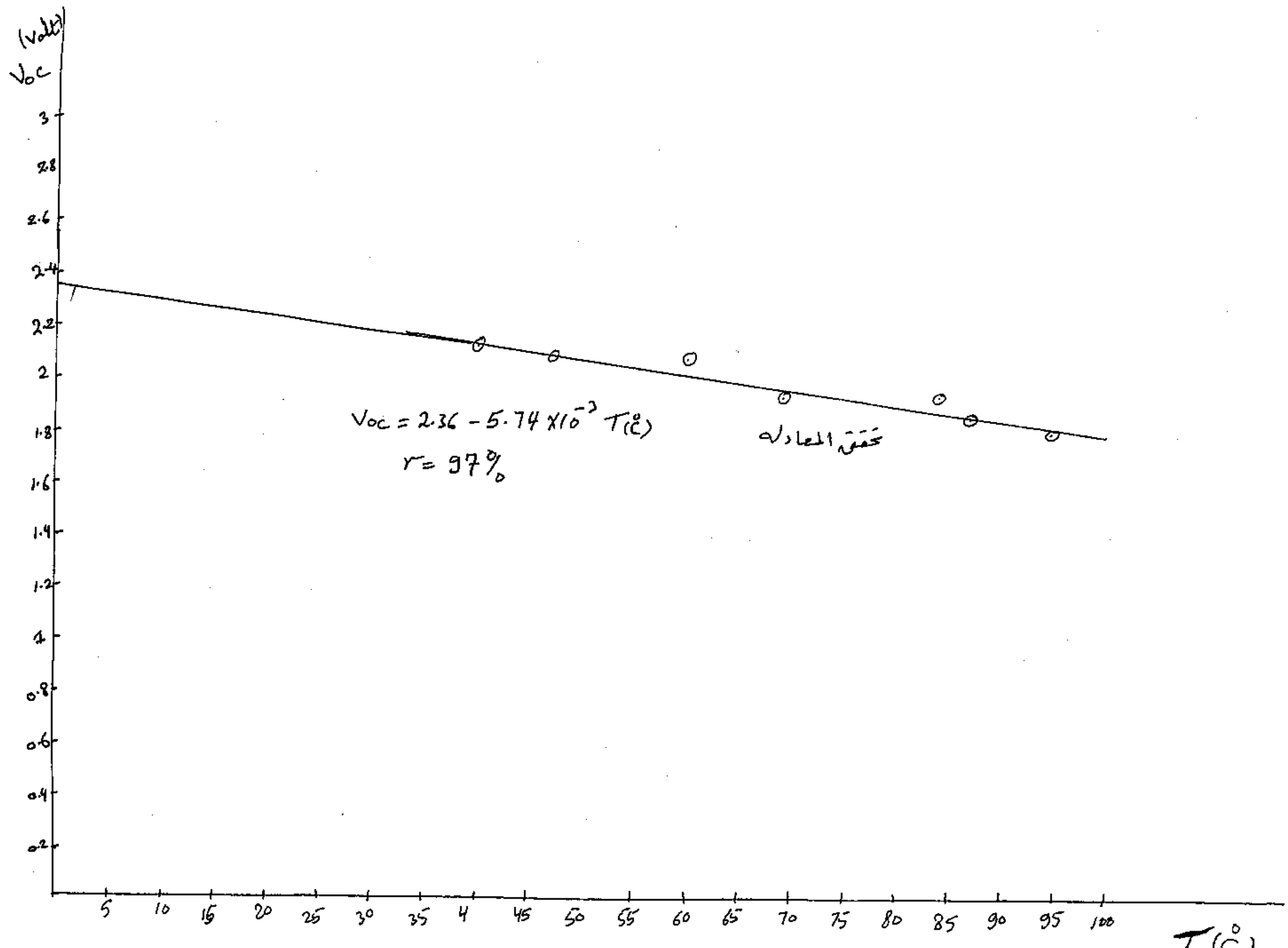
Pmax	η	T ($^{\circ}C$)	مساحة كل خلية $45\ Cm^2$
1.138	0.0648	47	
1.085	0.069	60	
1.006	0.063	69	
o.851	0.059	87	
0.633	0.057	94	



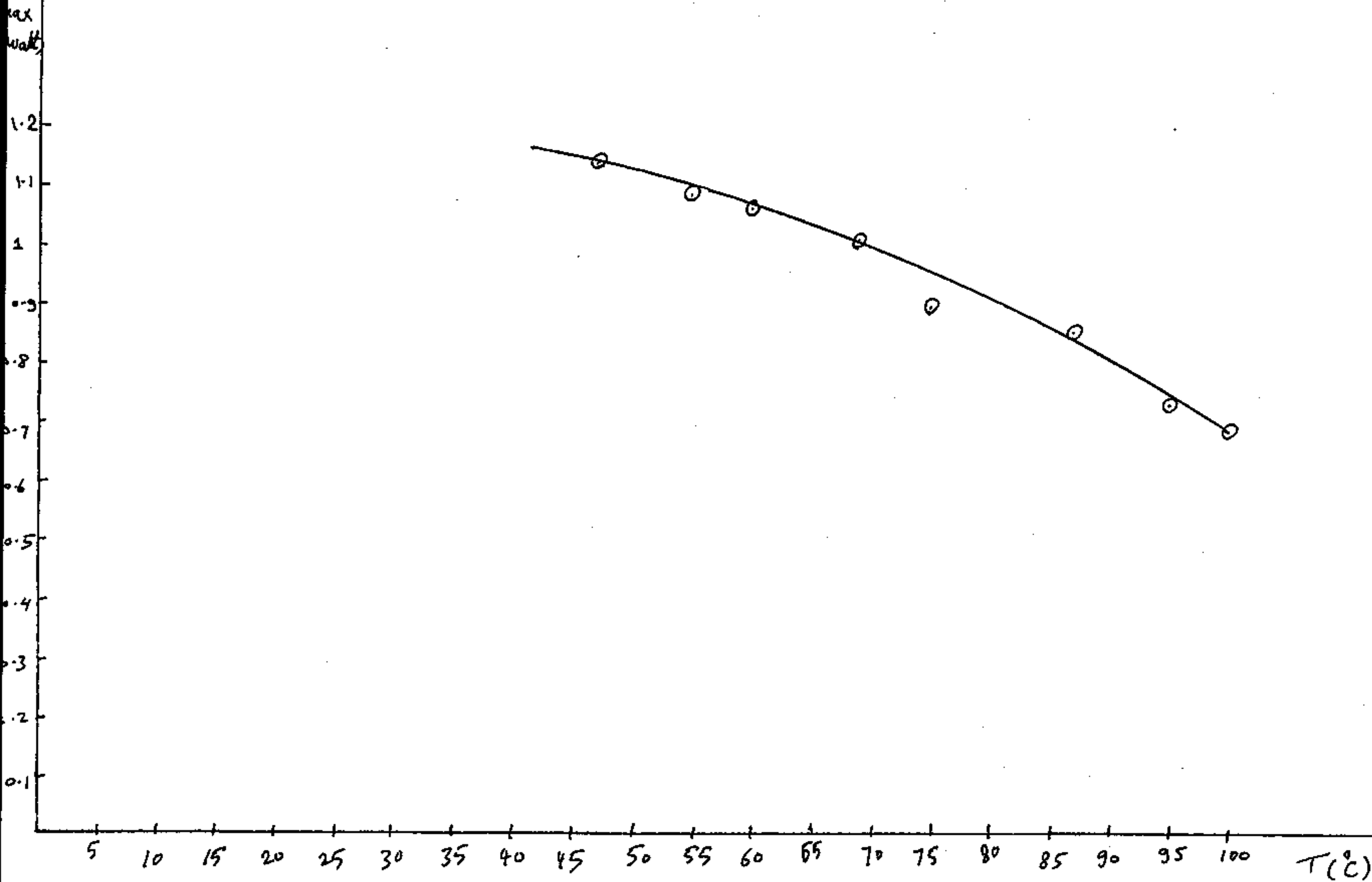
صورة رقم - ٨ -



شكل (٣٥) المنحنيات المميزة لأربعة خلايا شمسية مستديرة مساحة كل خلية 45cm² موصولة على التوالي



شكل (٢٦) تأثير الحرارة على Voc (جهد الدائرة المفتوحة) لأربع خلايا شمسية سليكونية مستديرة قطر كل خلية 7.6cm ومساحتها $4.5\times10^{-3}\,m^2$



شكل (٢٧) اثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلايا ، علاقة القدرة القصوى P_{max} مع T درجة الحرارة للأربعة خلايا شمسية متصلة على التوالي مساحة كل خلية 5 cm²

الاربعة خلايا مع درجة الحرارة وقد توصلنا للعلاقة الثالثه

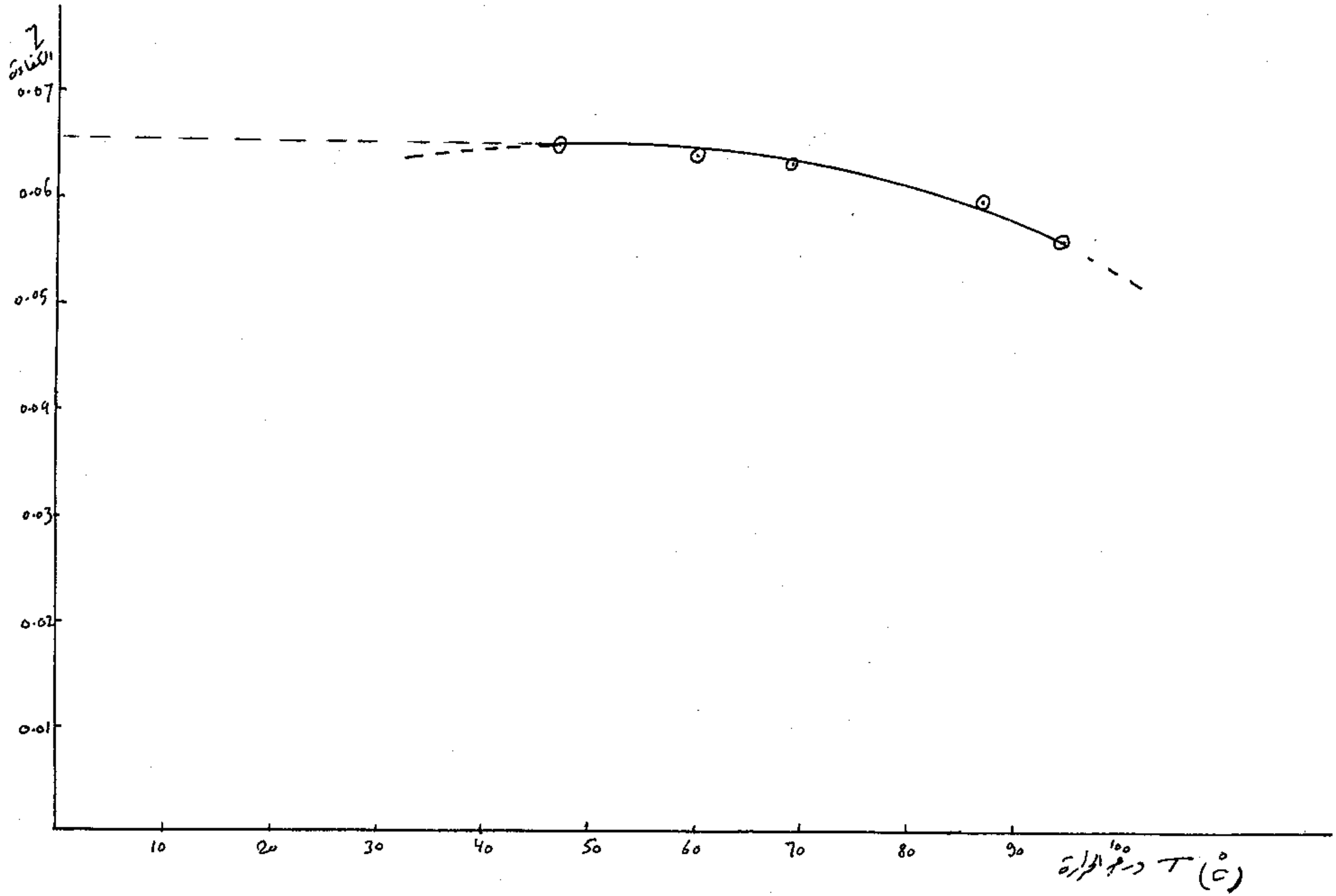
$$P_{max} = 3.78 - 0.67 \ln T(C)$$
$$r = 92\,\%$$

وهى علاقة لوغارثميه

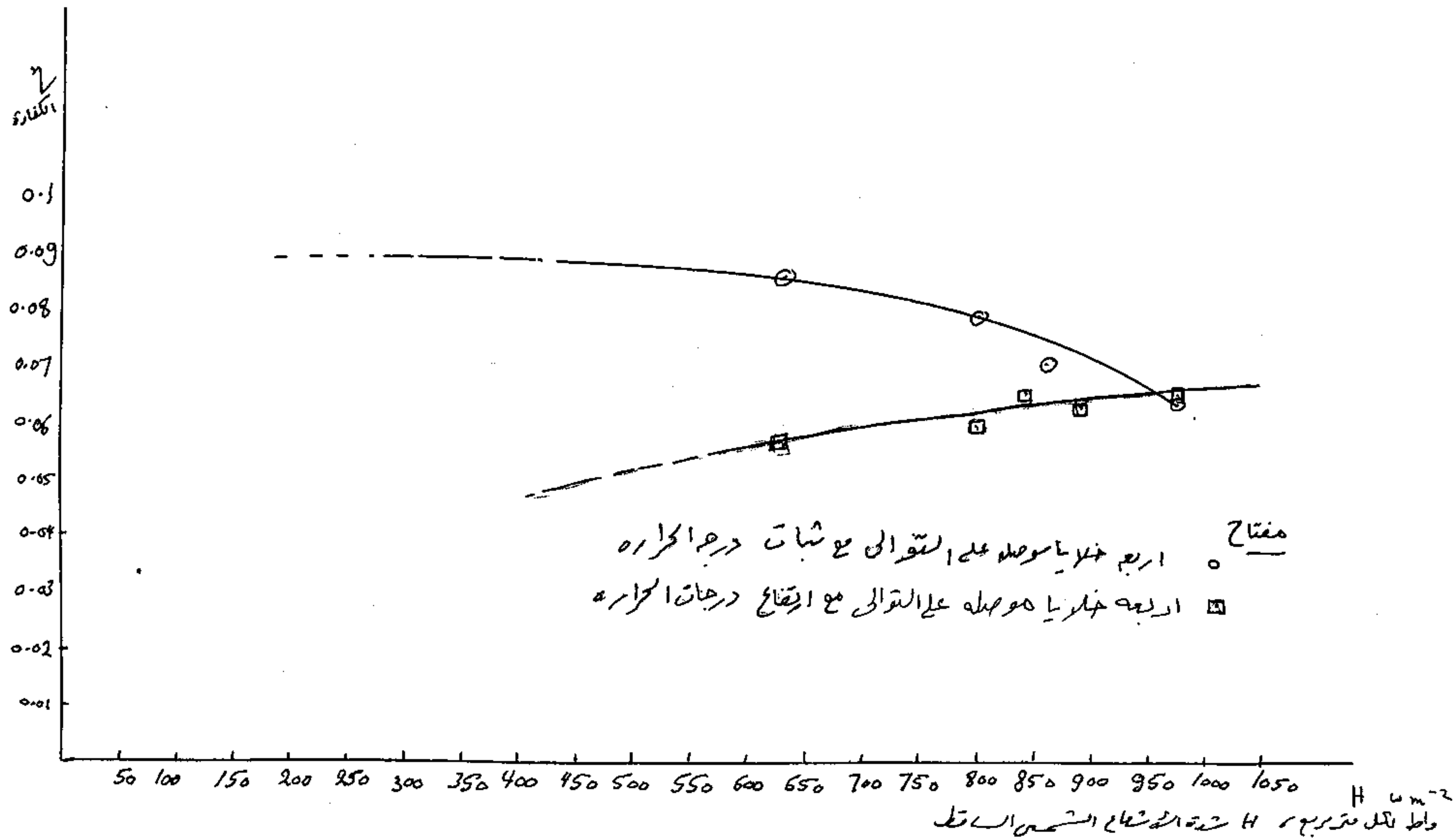
اما اثر ارتفاع درجات الحرارة على كفاءة الخلية فقد اوضحناه فى الشكل (٢٨) الذى يوضح العلاقة بين كفاءة الخلايا ودرجات الحراره ، وقد توصلنا ايضا الى علاقة لوغارثميه هى $\eta = 0.115 - 0.0126 \ln T$

$$r = 92\,\%$$

وابرزنا فى الشكل (٢٩) مقارنة بين كفاءة الخلايا المسخنه والخلايا غير المسخنه وعلاقتها مع H وتوضح المنحنيات انخفاض كفاءة الخلايا المسخنه بالمقارنة بالخلايا التى تكون عند درجة حرارة ثابته ويكون الاثر اوضح عند ما يكون الاشعاع منخفضاً " انظر الشكل (٢٩) .



شكل (٢٨) دراسة اثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء خلية ، رسم العلاقة بين الكفاءة η ، ودرجة الحرارة T مْ لأربع خلايا سيليكونية موصلة على التوالي مساحتها $45\ cm^2$



تأثير ارتفاع درجات الحراره على كفاءة الخلايا

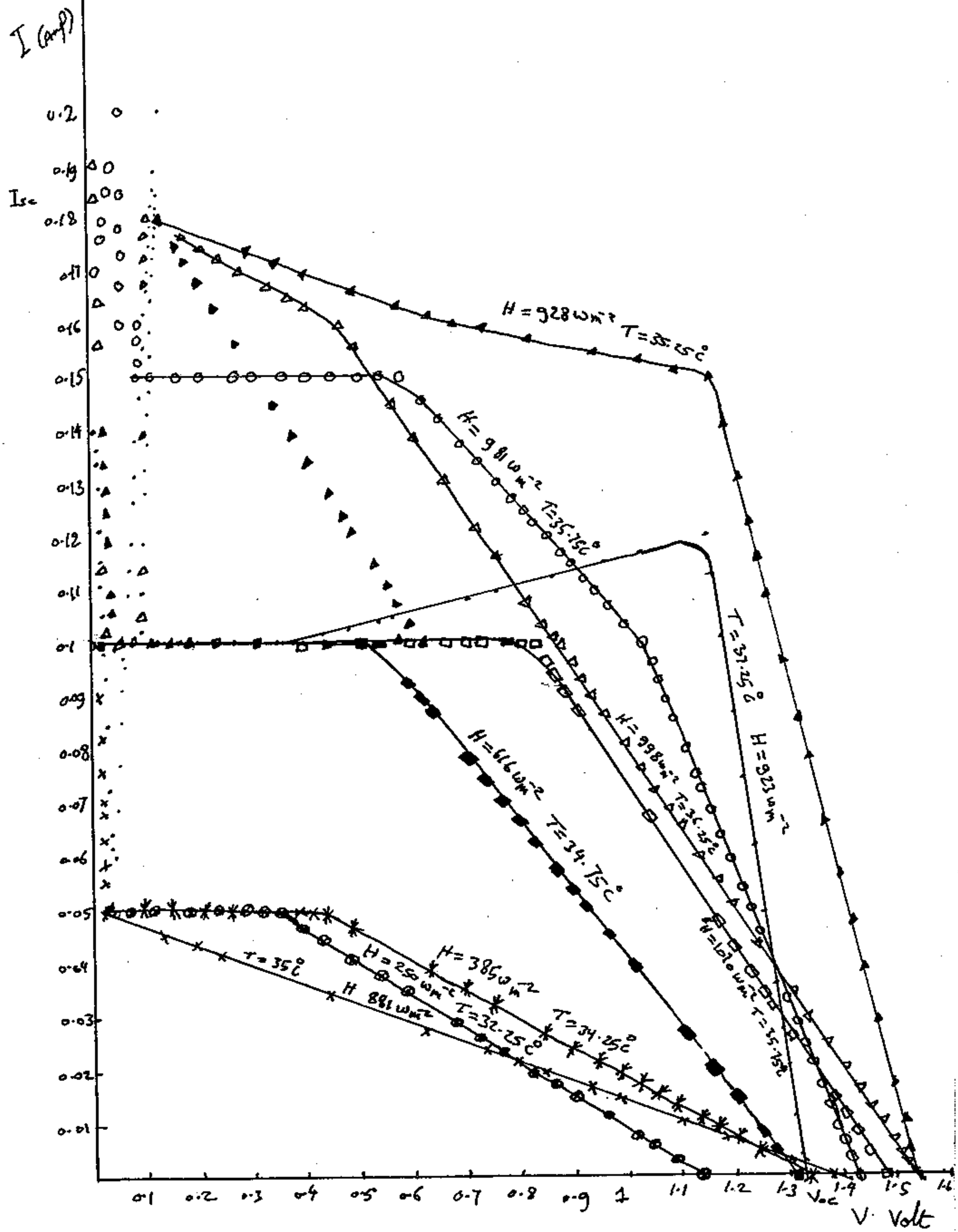
شكل (٢٩) علاقة الكفاءة η مع H لاربعة خلايا شمسية موصلة على التوالي مساحة كل خلية $45\ cm^2$ عند ثبات درجة الحرارة

٩) دراسة تأثير تظليل بعض الخلايا الشمسية :

وفى هذه الدراسة قمنا بتوصيل اربعة خلايا على التوالى مساحة كل خليه $45\ Cm^2$ وقمنا بتظليلها من بعد ١٠ سم بحيث لا يسقط عليها الاشعاع الشمسى H وأخذنا قيم مختلفة من المقاومة والقيم المناظرة V ، I (انظر الجداول الخلفية و كذلك وصلنا ٨ خلايا فى صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالى والصفين موصلين على التوازى واخذنا قيم مختلفة من المقاومة والقيم المناظرة V ، I (انظر الجداول التى فى الخلف) .

ويبين الشكل (٣٠أ) المنحنيات المميزه لاربعة خلايا مظللة و٨ خلايا توالى توازى وهى مظللة .

وقيم I ، V فى هذا الشكل ناتجه عن الاشعاع المنتشر . ولم نجد الوقت لدراسة هذه المنحنيات واثر حجب الاشعاع المباشر عن الخلايا .



شكل (٣٠) x المنحنى المميز لأربع خلايا شمسية موصلة على التوالي قطر كل خلية 7.6cm ومساحتها 45cm² وهي مظللة

* ■ • ▲ ○ △ ⊗ المنحنيات المميزة لثمانية خلايا موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به أربع خلايا على التوالي (والصفين موصلين على التوازي) مساحة كل خلية 45cm² وهي مظللة.

النتائج النهائية والاستنتاجات :

لقد كانت دراستنا للخلايا الشمسية المصنوعه من السيلكون شاملة ومفيدة وبجانب التعرف على التعامل مع هذه الخلايا وعلى خواصها المختلفة لقد توصلنا الى نتائج هامة نلخصها فيما يلى :

( ) دراسة خلايا ذات مساحات مختلفة ، اوضحت دراستنا للخلية المربعة ومساحتها $25 \ Cm^2$ والخليه المستديرة ومساحتها $80.1 \ Cm^2$ الاتى :-

(أ) ان Isc يتناسب طرديا مع شدة الاشعاع H :

حيث ان $Isc = C_1 H$

وان C_1 ثابت واوضحت الدراسة ان زيادة Isc لاتتناسب تناسبا طرديا مع زيادة المساحة .

(ب) ان Voc لايتغير بتغير الاشعاع H . اذ ان

$$Voc = C_2$$

C_2 ثابت ولا يعتمد الا على خواص الخليه

وبينما يزيد I_{sc} بزيادة مساحة الخليه لا يتأثر Voc بزيادة مساحة الخليه .

(جـ) ان القدرة القصوى Pmax تتغير تغيرا لوغارتميا مع H ففى حالة الخلية الصغيرة كانت

$$Pmax = 0.97 + 0.17 \ Ln \ H$$
$$r = 98.5 \ \%$$

وفى حالة الخلية الكبيرة كانت

$$Pmax = -0.69 + 0.193 \ Ln \ H$$
$$r = 99.3 \ \%$$

ويبين التحليل الاحصائى الترابطى Statistical regression analysis

بين القدرة القصوى Pmax وشدة الاشعاع H ان العلاقة العامه

بينهما تكون

$$P_{max} = a + b \ln H$$

ويكون a سالبا وبحساب Pmax عند ما يكون الاشعاع الف واط لكل متر مربع نجد ان $P_{max}=0.204$ W للخلية الصغيرة وان $P_{max} = 0.643$ W للخليه الكبيرة .

ومن الواضح ان الخليه الكبيرة تعطى قدرة اكبر ولكن عند حساب كثافة القدرة نجد

$$P_A = \frac{P_{max}}{A} = 81.6 \text{ W m}^{-2}$$ للخلية

الصغيرة وان

$$P_A = \frac{P_{max}}{A} = 80.3 \text{ W m}^{-2}$$

وهذا يوضح مزية الخلية الاصغر ذات المساحة ٢٥ سم٢ ولا نستطيع ان نقول ان الفضل يعود الى صغر المساحة ولكن الواضح ان زيادة مساحة الخلية الى اكثر من ٣ أضعاف لم يؤدى الى تحسين أدائها .

(د) متوسط كفاءة الخلية الصغيرة يصل الى $\bar{\eta} = 8.14$ % بينما يصل متوسط كفاءة الخلية الكبيرة الى اقل من ذلك اذ ان $\bar{\eta} = 6.58$ للخلية الكبيرة وهذه النتائج توضح مرة اخرى ان الخليه الصغيرة تتفوق على الخلية الكبيرة وكذلك معامل امتلاء المنحنى C.F الموضح فى العمود الايسر للجدول يوصلنا الى نفس النتيجة ونلخص النتائج النهائية فى الجدول رقم (٤) .

يبدو ان اللجوء الى صناعة خلايا كبيرة المساحة كان لاسباب اقتصادية اذ ان الجهد الذى يبذل لصناعة خلية مساحتها ٢٥سم٢ هو نفس الجهد تقريبا الذى يبذل لصناعة خلية مساحتها ٨٠،١ سم٢ وتختلف

التكاليف اساسا بسبب اختلاف تكاليف مواد التصنيع مثل شرائح بلورات السيلكون .

هذا ويجب ان تؤخذ كل العوامل فى الاعتبار عند تصميم مولد كهربائى من خلايا السيلكون .

(٢) دراسة خلايا موصلة بطرق مختلفة : لقد توصلنا الى الاتى :-

(أ) ان العلاقة بين I_{sc} و H علاقة خطية طردية للمجموعات المختلفة كما للخلايا المفردة .

(ب) ان Voc ثابت لا يتأثر بشدة الاشعاع فى كل الاحوال .

(جـ) ان العلاقة اللوغرايتمية التجريبية التى توصلنا اليها من Pmax, H هى ايضا $Pmax = a + b \ln H$. ولا تتأثر هذه النتائج بطرق التوصيل او بعدد الخلايا .

(د) من العلاقة الاخيرة يمكن حساب القدرة عندما يكون الاشعاع الف واط لكل متر مربع وكذلك كثافة القدرة للمجموعات المختلفة ويمكن حساب كفاءة كل مجموعة بالطريقة التى اتبعناها من قبل .

ويوضح الجدول رقم (٥) تلخيصا لهذه النتائج .

وتخدمنا هذه الدراسة فى تصميم مولدات الكهرباء المكونة من صفوفات من الخلايا الشمسية حيث يعتمد الجهد النهائى على عدد الخلايا الموصلة على التوالى ويعتمد التيار المطلوب على عدد الخلايا الموصلة على التوازى وتقاس القدرة عادة عندما يكون الاشعاع الف واط لكل متر مربع ويفترض ان تكون العلاقة بين القدرة وشدة الاشعاع علاقة خطية وقد اثبتنا خطأ هذا الافتراض .

جدول رقم ٤

	H (Wm^{-2})	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	Pmay (w)	$\frac{P}{A}$ (W^{-2})	$\bar{\eta}$ (%)	C.F
الخلية الصغيرة المربعة 25 CM^2	1000	0.58	0.54	0.204	81.6	8.14	0.659
الخلية الكبيرة المستديرة 0.1 cm^2	1000	1.57	0.55	0.643	80.3	6.58	0.599

جدول رقم ـ ٥ ـ

	H Wm^{-2}	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	Pmay (W)	P_A Wm^{-2}	$\bar{\eta}$ %
خليتين موصلتين على التوالي مساحة الخلية 80.1 CM^2	1000	1.02	1.06	0.889	55.5	6.6
٤ خلايا موصلة على التوالي مساحة كل خلية 4 5 CM^2	1000	1.5	2.2	1.148	63.77	6.3
٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي مساحة كل خلية 45 CM^2	1000	1.88	2	2.53	70.3	7.0

(٣) دراسة تأثير ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلايا الشمسيـــة

لقد توصلنا الى علاقة خطية بين جهد الدائرة المفتوحة Voc ودرجة حرارة الخلية $T(^{o}C)$ وهى كما يلى :

$$V_{oc} = a + bT$$

وتعتمد الثوابت a , b على خواص الخليه ويكون b سالبا ، وفـــى حالة الخلية التى استخدمناها وجدنا ان Voc يتناقص بمعدل 5.7 ملى فولط بزيادة كل درجة من درجات الحرارة .

وقد توصلنا ايضا الى ان القدرة القصوى تنخفض ايضا بطريقـــة لوغرتمية عند ما ترتفع درجات الحرارة اذ ان

$$P_{max} = a + b \ln T$$

حيث الثابت b سالب

وكذلك كفاءة الخلية تتناقص لوغرتميا مع ارتفاع درجات الحرارة حيث ان

$$\eta = A + B \ln T$$

حيث يكون A , B ثابتين .

ويكون الثابت B سالبا وواضح من الشكل (٢٨) انخفاض كفاءة الخليـــة وزيادة درجة الحرارة ، وكذلك يوضح الشكل (٢٩) مقارنة بين كفاءة الخلايا التى رفعت درجات حرارتها والخلايا التى ثبتت درجات حرارتها وعلاقـــة الكفاءة η مع شدة الاشعاع H لهذا ففى حالة المولدات الكهربائيـــة المكونة من صفوفات من الخلايا الشمسية يجب ان يعرض اسفل الخلايـــا لتيار الهواء المحيط يجب ان تكون الطبقة العازلة التى تغطى اسفل الخلايـــا رقيقه حتى لاتنخفض كفاءة الخلايا نتيجة لارتفاع درجات الحرارة فى داخلها .

واخيرا رغم اننا اخذنا كثيرا من القراءات لمجموعة من الخلايا الموصلة على التوالى والتوازى فى حالة تغطية بعض الخلايا وتعريض الخلايا الاخرى للاشعاع الشمسى فاننا لم نتمكن من تقديم تحليل لنتائج هذه الدراسة ونأمل فى من يواصل البحث فى هذا المجال ان يستفيد من القراءات التى سجلناها .

References   المراجـــــع

1. P. Rappaport, RCA Rev vol. 20, 373-397, 1959.
2. S.W. Angrist, Direct Energy Conversion, 3rd ed. Allyn and Bacon, 1976.
3. Sol Wieder, An Introduction to Solar Energy for Scientists and Engineers, John Wiley and Sons, 1982.
4. A. Khogali and M.R.I. Ramadan. Optimum Operating conditions of a solar cell panel and prediction of solar radiation in Sanaa, Yomen, vol. 5, 173-181, 1982.

جدول (١)

خلية شمسية سيلكونية مربعة الشكل مساحتها (4.5 X 10^{-3}m)

$H = 851\ Wm^{-2}$

درجة الحرارة عند بداية القراءة $T_1=33^0C$

درجة الحرارة في النهاية $T_2=33.5^0C$

R Ω	V (Volt)	I (Amp)	R Ω	V (Volt)	I (Amp)	
0	0.044	0.5	1.4	0.457	0.37	
∞	0.547	0	1.5	0.463	0.35	
0.1	0.091	0.5	1.6	0.468	0.35	
0.2	0.135	0.5	1.7	0.475	0.32	
0.3	0.179	0.5	1.8	0.480	0.3	
0.4	0.224	0.5	1.9	0.483	0.29	
0.5	0.269	0.5	2	0.486	0.26	
0.6	0.309	0.5	3	0.508	0.2	
0.7	0.346	0.5	4	0.515	0.18	
0.8	0.376	0.42	5	0.52	0.16	
0.9	0.398	0.41	6	0.525	0.1	
1	0.414	0.4	10	0.533	0.03	
1.1	0.434	0.395	20	0.548	0	
1.2	0.444	0.392	0	0.042	0.5	
1.3	0.452	0.38	∞	0.547	0	VoC=0.547

جدول (2)

خلية شمسيـــــة سيلكونية مربعة الشكل مساحتها ($2.5 \times 10\ H^{-3}$)

$H = 672\ Wm^{-2}$

درجة الحرارة عند بداية النهاية $T_1 = 38^{0}C$

درجة الحرارة فى النهاية $T_2 = 43.5^{0}C$

R Ω	V (Volt)	I (Amp)	R Ω	V (Volt)	I (Amp)	
0	0.035	0.43	1.4	0.444	0.35	
∞	0.534	0	1.5	0.45	0.3	
0.1	0.078	0.43	1.6	0.456	0.29	
0.2	0.118	0.43	1.7	0.459	0.28	
0.3	0.255	0.43	1.8	0.464	0.25	
0.4	0.197	0.43	1.9	0.468	0.23	
0.5	0.239	0.42	2	0.474	0.22	
0.6	0.276	0.41	3	0.496	0.2	
0.7	0.309	0.4	4	0.501	0.17	
0.8	0.341	0.405	5	0.507	0.16	
0.9	0.367	0.4	6	0.517	0.1	
1	0.388	0.395	10	0.525	0.02	
1.1	0.41	0.38	20	0.534	0	Voc=532
1.2	0.423	0.36	0	0.033	0.42	
1.3	0.434	0.35	∞	0.53	0	

خلية شمسية سيلكونية مربعة الشكل مساحتها (2.5 X 10 H^{-3})

H = 948 Wm^{-2}

درجة الحرارة عند بداية النهاية $T_1=35^oC$

درجة الحرارة عند النهاية $T_2=35.5$

R Ω	V (Volt)	I Amp	R Ω	V (Volt)	I (Amp)	
0	0.046	0.57	1.3	0.463	0.32	
∞	0.548	0	1.4	0.469	0.31	
0.1	0.145	0.57	1.5	0.474	0.3	
0.2	0.194	0.57	1.6	0.478	0.295	
0.3	0.291	0.57	1.7	0.482	0.27	
0.4	0.289	0.57	1.8	0.484	0.24	
0.5	0.330	0.56	1.9	0.487	0.22	
0.6	0.365	0.5	2	0.504	0.2	
0.7	0.391	0.53	3	0.517	0.17	
0.8	0.411	0.52	4	0.523	0.12	
0.9	0.426	0.51	5	0.527	0.1	
1	0.441	0.4	10	0.544	0	
1.1	0.45	0.38	0	0.045	0.57	Voc=0.545
1.2	0.458	0.365	∞	0.545	0	

خلية شمسية سيلكونية مربعة الشكل مساحتها $(2.5 \times 10^{-3} m)$

$H - 1110\ Wm^{-2}$ $T_1 = 33^{0}C$ $T_2 = 37^{0}C$

R Ω	V (volt)	I (Amp)	R Ω	V (volt)	I (Amp)	
0	0.05	0.59	1.4	0.462	0.36	
∞	0/548	0	1.5	0.468	0.34	
0.1	0.104	0.59	1.6	0.472	0.3	
0.2	0.155	0.59	1.7	0.477	0.295	
0.3	0.2	0.59	1.8	0.483	0.28	
0.4	0.256	0.59	1.9	0.486	0.23	
0.5	0.305	0.59	2	0.489	0.21	
0.6	0.345	0.58	3	0.506	0.2	
0.7	0.377	0.56	4	0.516	0.17	
0.8	0.4	0.54	5	0.519	0.16	
0.9	0.416	0.5	6	0.522	0.1	
1	0.43	0.457	10	0.531	0.04	
1.1	0.444	0.4	20	0.542	0	$\overline{V}oC=0.454$
1.2	0.451	0.395	0	0.047	0.59	
1.3	0.458	0.37	∞	0.543	0	

مارس / ١٥

خلية شمسية سيلكونية مربعة الشكل مساحتها (2.5x 10 cm)

H =	Volts	Amp	درجة الحرارة فى بداية القراءة T_1	= 33^0C	درجة الحرارة عند النهاية $T_1 = 33.5^0C$	
R Ω	V	I	R Ω	V (Volt)	I (Amp)	
0	0.044	0.5	1.5	0,463	0.36	
∞	0/547	0	1.6	0.468	0.55	
0.1	0.091	0.5	1.7	0.475	0.32	
0.2	0.179	0.5	1.8	0.48	0.3	
0.3	0.179	0.5	1.9	0.483	0,29	
0,4	0.224	0.5	2	0.486	0.26	
0.5	0.269	0.5	3	0.508	0.2	
0.6	0.309	0.5	4	0.515	0.18	
0.7	0.346	0.5	5	0.520	0.16	
0.8	0.376	0.42	6	0.525	0.1	
0.9	0.398	0.41	7	0.530	0.09	
1	0.414	0.4	10	0.533	0.03	
1.1	0,434	0.395	20	0,549	0	VoC=0.547
1.2	0.444	0.392	0	0.042	0.5	
1.3	0,452	0.38	∞	0.547	0	
1.4	0.457	0.37				

جدول نتائج (1) لخلية شمسية واحدة قطرهـــــــا (10.1 Cm)

$H = 923\ Wm^{-2}$

$T_1 = 35^{0}C$ درجة الحرارة في البداية

$T_2 = 33^{0}C$ درجة الحرارة

R Ω	V (Volt)	I (Amp)	R Ω	V (Volt)	I (Amp)
0	0.03	1.4	5	0.515	0.23
∞	0.54	0	6	0.52	0.2
0.1	0.095	1.4	7	0.525	0.14
0.2	0.16	1.4	8	0.525	0.08
0.3	0.22	1.39	9	0.525	0.07
0.4	0.28	1.38	10	0.525	0.05
0.5	0.33	1.3	20	0.54	0
0.6	0.36	1.2	0	0.03	1.4
0.7	0.335	1.1	∞	1.08	0
0.8	0.395	1			
0.9	0.41	0.95			
1	0.425	0.84			
2.	0.48	0.5			
3	0.5	0.4			
4	0.51	0.3			

جدول (2) لخلية شمسية سيلكونية قطرهــــــــــــــــا (10.1 Cm)

$H = 1002\ Wm^{-2}$ — $T_1 = 33^oC$ درجة الحرارة في البداية — $T_2 = 34^oC$ درجة الحرارة في النهاية

R	V(Volt)	I(Amp)	R	V(Volt)	I (Amp)
0	0.03	1.5	1.4	0.455	0.62
∞	0.45	0	1.5	0.485	0.6
0.1	0.105	1.5	1.6	0.485	0.69
0.2	0.17	1.5	1.7	0.49	0.58
0.3	0.235	1.5	1.8	0.49	0.58
0.4	0.295	1.4	1.9	0.49	0.57
0.5	0.34	1.3	10	0.53	0.15
0.6	0.345	1.2	2o	0.535	0
0.7	0.39	1.1	0	0.03	15
0.8	0.405	1	∞	0.54	0
0.9	0.42	0.9			
1	0.445	0.8			
1.1	0.495	0.75			
1.2	0.455	0.68			
1.3	0.46	0.65			

جدول (3) لخلية شمسية سيلكونية مستديرة قطرهـــا (10.1 Cm)

$H = 847\ Wm^{-2}$

$T_1 = 33^{\circ}C$ درجة الحرارة في البداية

$T_2 = 33^{\circ}C$ درجة الحرارة في النهاية

R	V(volt)	I(Amp)	R	V(Volt)	I(Amp)
0	0.055	1.3	1.7	0.475	0.58
∞	0.535	0	1.8	0.48	0.58
0.1	0.12	1.3	1.9	0.48	0.55
0.2	0.175	1.3	10	0.525	0.15
0.3	0.205	1.28	20	0.53	0
0.4	0.29	1.22	0	0.055	0.58
0.5	0.34	1.2	∞	0/53	0.00
0.6	0.37	1.15			
0.7	0.395	1.08			
0.8	0.41	1			
0.9	0.425	0.95			
1	0.435	0.9			
1.1	0.445	0.8			
1.2	0.45	0.72			
1.3	0.46	0.7			
1.4	0.465	0.68			
1.5	0.47	0.62			
1.6	0.47	0.6			

جدول (4) لخلية شمسية سيليكونية واحدة مستديرة

قطرها (10.1 Cm)

H=720 Wm^{-2} $T_1=34^{\circ}C$ $T_2=32^{\circ}C$

R Ω	V(VOLT)	I(AMP)	R Ω	V(VOLT)	I(AMP)
0	0.05	1.19	1.2	0.445	0.72
∞	0.53	0	1.3	0.45	0.7
0.1	0.105	1.19	1.4	0.455	0.62
0.2	0.16	1.19	1.5	0.46	0.6
0.3	0.21	1.19	1.6	0.465	0.6
0.4	0.265	1.19	1.7	0.47	0.58
0.5	0.315	1.15	1.8	0.47	0.55
0.6	0.35	1.1	1.9	0.475	0.5
0.7	0.375	1	10	0.52	0.16
0.8	0.395	0.99	20	0.53	0
0.9	0.41	0.9	0	0.05	1.25
1	0.425	0.82	∞	0.53	0
1.1	0.435	0.8			

جدول (5) لخلية شمسية سيليكونية .

قطرها = (10.1 Cm)

H=599 Wm^{-2} درجة الحرارة في البداية T_1=32°C T_2=32°C درجة الحرارة في النهاية

R Ω	V(VOLT)	I(AMP)	R Ω	V(VOLT)	I(AMP)
0	0.04	1	1.3	0.43	0.62
∞	0.52	0	1.4	0.435	0.6
0.1	0.18	1	1.5	0.445	0.6
0.2	0.135	1	1.6	0.45	0.58
0.3	0.185	1	1.7	0.45	0.56
0.4	0.22	1	1.8	0.455	0.5
0.5	0.265	1	1.9	0.46	0.5
0.6	0.305	0.99	2	0.465	0.48
0.7	0.34	0.95	3	0.485	0.38
0.8	0.365	0.9	10	0.51	0.16
0.9	0.385	0.82	20	0.52	0
1	0.395	0.8	0	0.04	0.9
1.1	0.415	0.75	∞	0.52	0
1.2	0.425	0.7			

جدول (6) لخلية شمسية سيليكونية واحدة .

قطرها (10.1cm)

$H=386\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة الابتدائية $T_1=31^{\circ}C$ $T_2=30^{\circ}C$ درجة الحرارة النهائية

R Ω	V(VOLT)	I(AMP)	R Ω	V(VOLT)	I(AMP)
0	0.035	0.8	1.3	0.6	
∞	0.515	0	1.4	0.6	
0.1	0.075	0.8	1.5	0.42	
0.2	0.115	0.8	1.6	0.425	
0.3	0.15	0.8	1.7	0.43	
0.4	0.185	0.8	1.8	0.435	
0.5	0.225	0.8	1.9	0.44	
0.6	0.265	0.8	2	0.445	
0.7	0.3	0.8	10	0.5	
0.8	0.325	0.8	20	0.515	
0.9	0.34	0.78	0	0.035	
1	0.36	0.65	∞	0.515	
1.1	0.38	0.62			
1.2	0.39	0.62			

جدول (1) لخليتين شمسيتين موصولتين على التوالي .

قطر كل واحدة (10.1 Cm)

H=1002 Wm^{-2} درجة الحرارة الداخلية $T_1=33^oC$ درجة الحرارة الخارجية $T_2=34^oC$

R Ω	V (Volt)	I (Amp)	R Ω	V (Volt)	I (Amp)
0	0.06	1.5	1.3	0.92	0.65
∞	1.08	0	1.4	0.93	0.62
0.1	0.21	1.5	1.5	0.97	0.60
0.2	0.34	1.5	1.6	0.97	0.59
0.3	0.47	1.5	1.7	0.98	0.58
0.4	0.59	1.4	1.8	0.98	0.58
0.5	0.68	1.3	1.9	0.98	0.57
0.6	0.73	1.2	10	1.06	0.15
0.7	0.78	1.1	20	1.07	0
0.8	0.81	1	0	0.06	1.5
0.9	0.84	0.9	∞	1.08	0
1	0.89	0.8			
1.1	0.99	0.75			
1.2	0.91	0.68			

جدول رقم (2)

جدول النتائج لخليتين شمسيتين موصلتين على التوالي قطر الواحدة منها (10.1 CM)

[الخلية الكبيرة]

H=720 Wm^{-2} $T_1=34^{\circ}c$ $T_2=32^{\circ}c$

R Ω	V(VOLT)	I(AMP)	R Ω	V(VOLT)	I(AMP)
0	0.1	1.19	1.2	0.89	0.72
00	1.06	0	1.3	0.9	0.7
0.1	0.21	1.19	1.4	0.91	0.62
0.2	0.32	1.19	1.5	0.92	
0.3	0.42	1.19	1.6	0.93	
0.4	0.53	1.19	1.7	0.94	
0.5	0.63	1.15	1.8	0.94	
0.6	0.7	1.1	1.9	0.95	
0.7	0.75	1	10	1.04	
0.8	0.79	0.99	20	1.06	
0.9	0.82	0.9	0	0.1	
1.	0.85	0.82	00	1.06	
1.1	0.87	0.8			

جدول رقم (3)

جدول النتايج لخليتين شمسيتين موصلتين علي التوالي قطر الواحده (10.1 CM)

[الخلية الكبيرة]

$H=599\ Wm^{-2}$ $T_1=32$ $T_2=32^{o}C$

R Ω	V(VOLT)	I(AMP)	R Ω	V(VOLT)	I(AMP)
0	0.08	1	2	0.93	0.48
∞	1.04	0	3	0.97	0.38
0.1	0.18	1	10	1.02	0.16
0.2	0.27	1	20	1.04	0
0.3	0.37	1	0	0.08	0.9
0.4	0.44	1	∞	1.04	0
0.5	0.53	1			
0.6	0.61	0.99			
0.7	0.68	0.95			
0.8	0.73	0.9			
0.9	0.77	0.82			
1=	0.79	0.8			
1.1	0.83	0.75			
1.2	0.85	0.70			
1.3	0.86	0.62			
1.4	0.87	0.6			
1.5	0.89	0.6			
1.6	0.9	0.58			
1.7	0.9	0.56			
1.8	0.91	0.5			
1.9	0.92	0.5			

جدول رقم (4)
جدول النتائج لخليتين شمسيتين موصلتين على التوالي قطر الواحده (10.1 CM)

$H=847\ Wm^{-2}$ $T_1=33^{o}c$ $T_2=33^{o}C$

R Ω	V(VOLT)	I(AMP)	R Ω	V(VOLT)	I(AMP)
0	0.11	1.3	1.2	0.9	0.72
∞	1.07	0	1.3	0.92	0.7
0.1	0.24	1.3	1.4	0.93	0.68
0.2	0.35	1.3	1.5	0.94	0.62
0.3	0.41	1.28	1.6	0.94	0.6
0.4	0.58	1.22	1.7	0.95	0.58
0.5	0.68	1.2	1.8	0.96	0.58
0.6	0.74	1.15	1.9	0.96	0.55
0.7	0.79	1.08	10	1.05	0.15
0.8	0.82	1	20	1.06	0
0.9	0.85	0.95	0	0.11	1.25
1	0.87	0.9	∞	1.06	0
1.0	0.89	0.8			

جدول رقم (5)

جدول النتائج لخليتين شمسيتين موصلتين على التوالي قطر الواحدة (10.1 CM)

$H=386\ Wm^{-2}$		$T_1^1=31^oC$		$T_2=30^oC$	
R Ω	V(VOLT)	I(AMP)	R Ω	V(VOLT)	I(AMP)
0	0.07	0.8	1.2	0.78	0.62
∞	1.03	0	1.3	0.81	0.6
0.1	0.15	0.8	1.4	0.82	0.6
0.2	0.23	0.8	1.5	0.84	0.58
0.3	0.3	0.8	1.6	0.85	0.56
0.4	0.37	0.8	1.7	0.86	0.54
0.5	0.45	0.8	1.8	0.87	0.5
0.6	0.53	0.8	1.9	0.88	0.48
0.7	0.6	0.8	2	0.89	0.44
0.8	0.65	0.8	10	1	0.16
0.9	0.68	0.78	20	1.03	0
1	0.72	0.65	0	0.07	0.78
1.1	0.76	0.62	∞	1.03	0

جدول (1) لأربع خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصولة على التوالي قطر الواحدة (7.6 CM)
وهي مبردة

$H=924\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في الخارج $T_2=33^{o}C$ درجة الحرارة في الداخل $T_1=29^{o}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.17
0	1	0.06
0.1	1	0.16
0.2	1	0.25
0.4	1	0.44
0.6	0.95	0.62
0.8	0.95	0.79
1	0.95	0.99
5	0.4	1.99
10	0.2	2.08
20	0.1	2.13
o	1	0.06
∞	0	2.17

جدول (2) : اربعة خلايا شمسية سليكونية موصلة على التوالي قطر الواحدة (7.6 CM)
وهي مبردة

$H=975\ Wm^{-2}$ — درجة الحرارة في النهاية $T_2=22^oC$ — درجة الحرارة في البداية $T_1=10^oC$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.2
0	1	0.06
0.1	1	0.15
0.2	0.95	0.24
0.4	0.95	0.43
0.6	0.9	0.58
0.8	0.8	0.71
1	0.95	1
5	0.4	1.99
10	0.25	2.08
20	0.1	2.12
0	1	0.06
∞	0	2.16

جدول (3) لأربعة خلايا شمسية سيليكونية موصلة على التوالي قطر الواحدة (7.6cm)
وهي مبردة

درجة الحرارة في البداية $T_1=20^{o}C$ درجة الحرارة في النهاية $T_2=28^{o}C$ $H=940\ Wm^{-2}$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.2
0	0.99	0.07
0.1	0.98	0.16
0.2	0.98	0.25
0.4	0.96	0.43
0.6	0.95	0.63
0.8	0.95	0.8
1	0.95	0.98
5	0.45	2
10	0.2	2.08
20	0.99	2.13
0	0.99	0.07
∞	0	2.18

جدول (4) لأربع خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصلة على التوالي قطر الواحدة (7.6cm)
وهي مبردة

H=990 درجة الحرارة النهائية $T_2=20^{\circ}C$ درجة الحرارة البدائية $T_1=16.5^{\circ}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.25
0	0.95	0.27
0.1	0.95	0.9
0.2	0.95	1.25
0.4	0.94	1.78
0.6	0.94	0.63
0.8	0.95	0.82
1	0.95	1.09
5	0.4	2.07
10	0.21	2.1
20	0.11	2.14
0	0.99	0.12
∞	0	2.18

جدول (5) لأربعة خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصلة على التوالي .
قطر الواحدة منها (7.6cm)
وهي مبردة

$H=978\ Wm^{-2}$ — درجة الحرارة في البداية $T_1=11^oC$ — درجة الحرارة في النهاية $T_2=22^oC$

$R\ \Omega$	I(AMP)	V(VOLT)	
∞	0	2.2	
0	0.95	0.11	
0.1	0.95	0.83	
0.2	0.95	0.66	سحب بسيط
0.4	0.95	0.46	// //
0.6	0.95	0.88	
0.8	0.92	0.88	
1	0.9	1.02	
5	0.4	2.02	
10	0.2	2.1	
20	0.1	2.15	
0	0.95	0.14	
∞	0	2.19	

جدول (6) للأربعة خلايا شمسية سيلكونية مستديرة موصلة على التوالي.

وهي مجردة

قطر الواحدة منها (7.6cm)

$H=800\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في البداية $T_1=11$ درجة الحرارة في النهاية $T_2=25^{o}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.25
0	0.8	0.05
0.1	0.8	0.13
0.2	0.8	0.2
0.4	0;8	0.34
0.6	0.8	0.49
0.8	0.8	0.63
1	0.8	0.77
5	0.4	2.01
10	0.2	2.11
20	0.1	2.16
0	0.8	0.05
∞	0	2.2

جدول (7) لأربع خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصلة على التوالي وهي مبردة قطر كل واحدة (7.6cm)

$H=860\ Wm^{-2}$ — درجة الحرارة البدائية $T_1=7^oC$ — درجة الحرارة النهائية $T_2=22^oC$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.27
0	0.7	0.05
0.1	0.7	0.12
0.2	0.7	0.18
0.4	0.7	0.32
0.6	0.7	0.46
0.8	0.7	0.58
1	0.7	0.71
5	0.45	2.05
10	0.22	2.16
20	0.12	2.21
0	0.7	0.04
∞	0	2.27

جدول (8) لأربعة خلايا شمسية سليكونية موصلة على التوالي مستديرة وهي مبردة

قطر الواحدة منها (7.6cm)

$H=630\ Wm^{-2}$ $T_1=11^{\circ}C$ درجة الحرارة الابتدائية $T_2=22^{\circ}C$ درجة الحرارة النهائية

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.19
0	0.7	0.03
0.1	0.7	0.07
0.2	0.7	0.11
0.4	0.7	0.19
0.6	0.7	0.27
0.8	0.7	0.36
1	0.65	0.43
5	0.4	1.9
10	0.2	2.03
20	0.1	2.09
0	0.6	0.04
∞	0	2.14

جدول (١) ٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي ٤ خلايا في صف على التوالي ٤ خلايا في صف وموصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي. قطر كل خلية (7.6cm)

عند ثبات درجة الحرارة.

$H=923\ Wm^{-2}$ $T=36,5^{o}C$

R Ω	I (Amp)	V (Volt)
∞	0	1.99
0	1.9	0.2
0.2	1.8	0.53
0.4	1.78	0.85
0.6	1.7	1.15
0.8	1.6	1.4
1	1.5	1.5
5	0.4	1.99
10	0.21	1.99
20	1.8	0.2
∞	0	1.99

المتوسط $\bar{V}_{oc} = 1.99$

المتوسط $\bar{I}_{sc} = 1.85$

جدول (2) ٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي، ٤ خلايا في صف موصلة على التوالي،
و ٤ خلايا في صف موصلة على التوالي
والصفين موصلين على التوازي.
عند ثبات درجة الحرارة

(7.8cm)

$H = 981 \ Wm^{-2}$ $T = 35.5^{o}C$

$R \ \Omega$	I(AMP)	V(VOLT)		
∞	0	1.99	$\bar{V}_{oc} = 1.99$	المتوسط
0	1.9	0.217	$\bar{I}_{sc} = 1.95$	المتوسط
0.2	1.9	0.57		
0.4	1.9	0.94		
0.6	1.82	1.25		
0.8	1.75	1.47		
1	1.58	1.62		
5	0.4	1.99		
10	0.2	1.99		
0	2	0.22		
∞	0	1.99		

جدول (3) ٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به أربع خلايا موصلة على التوالي
والصفين موصلين على التوازي .
قطر كل خلية (7.6cm)

$H = 928\ Wm^{-2}$ عند ثبات درجة الحرارة $T = 35^{o}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.99
0	1.8	0.17
0.2	1.78	0.51
0.4	1.78	0.83
0.6	1.78	1.16
0.8	1.66	1.4
1	1.56	1.56
5	0.42	1.99
10	0.2	1.99
0	1.82	0.18
20	0	1.98
00	0	1.99

المتوسط $\bar{V}_{oc} = 1.99$

المتوسط $I_{sc} = 1.81$

جدول (4) ٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي

قطر كل خلية (7,6cm)

$H=998\ Wm^{-2}$ $T= 36^{o}C$ عند ثبات درجة الحرارة

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.99
0	1.94	0.19
0.2	1.9	0.55
0.4	1.9	0.895
0.6	1.86	1.23
0.8	1.78	1.49
1	1.6	1.66
5	0.4	1.99
10	0.2	1.99
0	1.98	0.19
∞	0	1.99

المتوسط $\bar{V}_{oc} = 1.99$

المتوسط $I_{sc} = 1.96$

جدول (5) ٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به اربع خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي.

قطر كل منها (7.6cm)

$H=1070\ Wm^{-2}$ $T=35.5^{o}C$ عند ثبات درجة الحرارة.

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.99
0	2	0.2
0.2	1.99	0.57
0.4	1.96	0.93
0.6	1.92	1.2
0.8	1.79	1.5
1	1.6	1.67
5	0.4	1.99
10	0.2	1.99
0	2	0.21
∞	0	1.99

$\bar{V}_{oc} = 1.99$ المتوسط

$I_{sc} = 2$ المتوسط

جدول (6) ٨ خلايا موصلة على التوازي والتوالي في صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي .

قطر كل منها (7.6cm)

H=616

متوسط درجة الحرارة T=34.5°C

R	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.12
0	1.24	0.15
0.2	1.22	0.38
0.4	1.21	0.62
0.6	1.2	0.84
0.8	1.2	1.04
1	1.18	1.24
5	0.4	1.98
10	0.2	2.05
0	1.2	0.13
00	0	2.11

$V_{oc} = 2.11$ المتوسط

$I_{sc} = 1.22$ المتوسط

جدول (1) اربعة خلايا شمسية مستديرة سيليكونية موصلة على التوالي

دراسة أثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلية

قطر كل خلية (7.6cm)

H=924 Wm^{-2} $T_1=40^{o}C$ $T_2=40.2\ ^{o}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.10
0	1	0.05
0.1	0.95	0.14
0.2	0.95	0.23
0.4	0.93	0.39
0.6	0.92	0.55
0.8	0.91	0.75
1	0.91	0.94
5	0.4	1.93
10	0.2	2
20	0	2.12
0	0.98	0.05
∞	0	2.14

جدول (2) لأربع خلايا شمسية سيلكونية مستديرة موصلة على التوالي .

دراسة اثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلية . قطر الخلية (7.6 cm)

$H=975\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة البدائية $T_1=47.5^{o}C$ درجة الحرارة النهائية $T_2=47.8^{o}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.08
0	0.97	0.06
0.1	0.97	0.15
0.2	0.76	0.24
0.4	0.95	0.42
0.6	0.8	0.53
0.8	0.95	0.77
1	0.95	0.93
5	0.4	1.91
10	0.21	1.99
20	0	2.09
0	0.99	0.06
∞	0	2.09

جدول (3) لأربع خلايا شمسية مستديرة موصلة على التوالي .

(7.6 cm) قطر كل دائرة

دراسة اثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلية .

$H=940\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في البداية $T_1=60^{\circ}C$ $T_2=60^{\circ}C$ درجة الحرارة في النهاية

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	2.05
0	0.99	0.06
0.1	0.99	0.15
0.2	0.99	0.24
0.4	0.99	0.42
0.6	0.98	0.6
0.8	0.98	0.77
1	0.97	0.94
5	0.4	1.85
10	0.2	1.94
20	0	2.07
0	0.99	0.06
∞	0	2.1

جدول (4) لأربع خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصلة على التوالي.

دراسة أثر ارتفاع درجات الحرارة على أداء الخلية، قطر الخلية (7.6 cm)

$H=990\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة البداية $T_1=69^oC$ درجة الحرارة النهاية $T_2=69^oC$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.96
0	0.98	0.08
0.1	0.98	0.19
0.2	0.98	0.27
0.4	0.98	0.44
0.6	0.97	0.63
0.8	0.97	0.8
1	0.96	0.97
5	0.37	1.7
10	0.29	1.77
20	0	1.88
0	1	0.08
∞	0	1.91

جدول (5) لأربع خلايا شمسية سيليكونية منتشرة موصلة على التوالي .

دراسة اثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلية .   قطر كل خلية (7.6 cm)

$H=978\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في البداية $T_1=80^\circ C$ درجة الحرارة في النهاية $T_2=80^\circ C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.94
0	0.99	0.07
0.1	0.99	0.05
0.2	0.99	0.29
0.4	0.99	0.42
0.6	0.98	0.6
0.8	0.98	0.75
1	0.92	0.95
5	0.38	1.75
10	0.2	1.85
20	0	1.94
0	0.99	0.06
∞	0	1.95

جدول (6) لأربع خلايا شمسية سيليكونية موصلة على التوالي .

دراسة اثر ارتفاع درجات الحرارة

قطر الواحدة منها (7.6CM)

$H=800\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في البداية $T_1=86^oC$ $T_2=88^oC$ درجة الحرارة في النهاية

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.87
0	0.81	0.06
0.1	0.81	0.19
0.2	0.81	0.22
0.4	0.81	0.37
0.6	0.8	0.53
0.8	0.8	0.68
1	0.8	0.83
5	0.39	1.66
10	0.2	1.77
20	0	1.85
0	0.81	0.06
∞	0	1.82

جدول (8) لأربعة خلايا شمسية سليكونية مستديرة موصلة على التوالي.
دراسة اثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلية

(7.6CM)

$H=630\ Wm^{-2}$ — درجة الحرارة في البداية $T_1=94^{\circ}C$ — درجة الحرارة في النهاية $T_2=95^{\circ}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.76
0	0.65	0.04
0.1	0.65	0.11
0.2	0.65	0.17
0.4	0.65	0.29
0.6	0.65	0.41
0.8	0.65	0.53
1	0.63	0.64
5	0.36	1.59
10	0.2	1.71
20	0	1.83
0	0.64	0.04
∞	0	1.84

جدول (7) لأربع خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصلة على التوالي ،
دراسة اثر ارتفاع درجات الحرارة على اداء الخلايا قطر الواحدة (7.6CM)

$H=860\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة الابتدائية $T_1=84^{\circ}C$ درجة الحرارة النهائية $T_2=84^{\circ}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.9
0	0.80	0.05
0.1	0.80	0.13
0.2	0.80	0.2
0.4	0.78	0.33
0.6	0.78	0.46
0.8	0.78	0.53
1	0.72	0.67
5	0.39	1.68
10	0.2	1.79
20	0	1.84
0	0.8	0.06
∞	0	1.97

جدول (١) للعشر خلايا شمسية مستديرة سيليكونية موصلة على التوالي عندما تكون جميع الخلايا مظللة أثر التظليل تقطر الخلية (7.6 CM)

$H=881\ Wm^{-2}$ $T_1=35^{\circ}C$ درجة الحرارة الابتدائية $T_2=35^{\circ}C$ درجة الحرارة النهائية

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.36
0	0.1	0.003
0.2	0.1	0.008
0.4	0.09	0.016
0.6	0.05	0.019
0.8	0.05	0.023
1	0.05	0.030
10	0	1.38
0	0.1	0.003
∞	0	1.4

جدول (1) ٨ خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به أربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي. قطر كل خلية (7.6CM)

اثر التظليل

$H=923\ Wm^{-2}$ $T_1=36.5^{o}C$ درجة الحرارة في البداية $T_2=38^{o}C$ درجة الحرارة في النهاية

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.32
0	0.1	0.009
0.2	0.1	0.02
0.4	0.05	0.039
0.6	0.1	0.06
0.8	0.2	0.13
1	0.1	0.09
5	0.1	0.37
10	0.12	1.15
0	0.18	0.014
∞	0	1.34

جدول (2) ٨ خلايا شمسية سيليكونية مستديرة موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي. (7.6 CM)

اثر التظليل

$H=981\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة الابتدائية $T_1=35^{o}C$ درجة الحرارة النهائية $T_2=36.5^{o}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.35
0	0.15	0.013
0.2	0.2	0.057
0.4	0.16	0.055
0.6	0.16	0.09
0.8	0.15	0.09
1	0.15	0.11
5	0.15	0.58
10	0.1	1.03
0	0.18	0.015
∞	0	1.5

جدول (3) ٨ خلايا شمسية مستديرة موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به ا
خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي . قطر كل خلية (7.6 CM)
اثر التظليل

H=928 Wm^{-2} درجة الحرارة البدائية $T_1=35^oC$ درجة الحرارة النهائية $T_2=35.5^oC$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
00	0	1.46
0	0.18	0.013
0.2	0.1	0.028
0.4	0.1	0.044
0.6	0.1	0.62
0.8	0.1	0.68
1	0.18	0.13
5	0.16	0.68
10	0.1	1.16
0	0.1	0.01
00	0	1.62

جدول (4) ٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي . قطر كل خلية (7.6 CM)

اثر التظليل

H=998 Wm^{-2} درجة الحرارة في البداية $T_1=36^{o}C$ درجة الحرارة في النهاية $T_2=36.5^{o}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
00	0	1.6
0	0.18	0.011
0.2	0.1	0.041
0.4	0.1	0.068
0.6	0.1	0.063
0.8	0.1	0.1
1	0.18	0.108
5	0.16	0.47
10	0.1	0.88
0	0.2	0.017
00	0	1.48

جدول (5) ٨ خلايا شمسية سيلكونية مستديرة موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي قطر كل خلية (7.6 cm) اثناء التظليل

$H=616\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في البداية $T_1=34^{\circ}C$ درجة الحرارة في النهاية $T_2=35.5^{\circ}C$

R	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.31
0	0.1	0.01
0.2	0.1	0.02
0.4	0.1	0.03
0.6	0.1	0.05
0.8	0.1	0.07
1	0.1	0.08
5	0.1	0.33
10	0.1	0.54
0	0.08	0.01
∞	0	1.33

جدول (6) ٨ خلايا موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به اربعة خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي ، قطر كل خلية (7.6 CM) اثر التظليل

$H=1070\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في البداية $T_1=36^{\circ}C$ درجة الحرارة في النهاية $T_2=36.5^{\circ}C$

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.47
0	0.1	0.011
0.2	0.1	0.029
0.4	0.1	0.059
0.6	0.1	0.075
0.8	0.1	0.1
1	0.1	0.117
5	0.1	0.47
10	0.1	0.83
0	0.1	0.01
∞	0	1.5

جدول (٦) ٨ خلايا شمسية سيليكونية موصلة على التوالي والتوازي في صفين كل صف به اربعة
خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي . قطر كل خلية (7.6 CM)
اثر التظليل

$H=250\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة البداية $T_1=32^oC$ $T_2=32.5^oC$ درجة الحرارة النهائية

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.17
0	0.05	0
0.2	0.05	0.01
0.4	0.05	0.01
0.6	0.05	0.03
0.8	0.05	0.03
1	0.05	0.04
5	0.05	0.18
10	0.05	0.35
0	0.05	0
∞	0	1.12

جدول (8) ٨ خلايا شمسية سيليكونية مستديرة . على التوالي والتوازي

في صفين كل صف به اربع خلايا موصلة على التوالي والصفين موصلين على التوازي . (7.6 CM)

اثر التظليل

$H=385\ Wm^{-2}$ درجة الحرارة في البداية $T_1=35^oC$ $T_2=33.5^oC$ درجة الحرارة في النهاية

R Ω	I(AMP)	V(VOLT)
∞	0	1.49
0	0.02	0.01
0.2	0.05	0.02
0.4	0.05	0.02
0.6	0.05	0.03
0.8	0.05	0.04
1	0.05	0.05
5	0.05	0.024
10	0.05	0.44
0	0.05	0
∞	0	1.2

GDOM OF SAUDI ARABIA
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
M AL-QURA UNIVERSITY
MAKKAH ALMUKARRAMAH
FACULTY OF APPLIED
CIENCES AND ENGINEERING
Department of Physics

بسم الله الرحمن الرحيم

المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
مكة المكرمة
كلية العلوم التطبيقية والهندسيه
قسم الفيزياء

الرقم REF
التاريخ DATE
الموافق
المشفوعات

تستطيع أن لا تكتب اسمك
أو ما يدل على شخصيتك

تقييم لحلقة البحث

صمم هذا التصميم بغرض التعبير الحر عن شعورك وآرائك بعد أن انهيت حلقة البحث وقد وضع أمام كل استفسار خمس درجات (٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢) وعليك وضع علامة امام احدى هذه الدرجات التي تعتقد انها تعبر عن رأيك . فالدرجات (٢ ، -٢) اذا كنت تتفق تماما مع الرأى المرفق لهاتين الدرجتين . والدرجات (١ ، -١) اذا كنتت تتفق معهما الى حد ما ، أما الدرجة (٠) فهى اذا كان رأيك بين هذا وذاك . مع رجاء الشعور بالحرية المطلقة لأنَّ هدف التقييم هو للنهوض مستقبلا بموضوع حلقة البحث التي تتفق وميول الدارسين .

١- كيف اتفقت اتجاهات حلقة البحث التى اتمتها مع ميولك العلمية ؟

متفقة ٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ غير متفقة

٢- كيف كان شغفك وميولك اثناء العمل التجريبى فى حلقة البحث ؟

كنت شغوفا جدا ٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ لم يكن لدى شغف بالمرة .

٣- كم تعتقد أنك حصلت على معلومات قيمة اضافية من حلقة البحث ؟

كثير جدا ٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٤- كم كان اشتراكك فى مجموعة مع زملائك مفيدا لك ؟

مفيد جدا ٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ غير مفيد بالمرة

٥- الى أى مدى تعتقد انك تعودت على البحث فى مجال الفيزياء ؟

كبير جدا ٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٦- هل تعتقد أن العمل في حلقة البحث اسهل أو اصعب من العمل فى التجارب العادية بالمختبرات ؟

اسهل كثيرا ٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ اصعب كثيرا

٧- الى أى مدى استفدت من الكتب والمراجع والدوريات ؟

كثير جدا ٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٨- هل ترغب فى الخوض بصورة اعمق فى مشروع حلقة البحث ؟

أرغب +٢ ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا أرغب

٩- هل تعتقد انك تمكنت من تجميع معلومات من المراجع بصورة جيدة ؟

بسهولة +٢ ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ بصعوبة

١٠- هل تنوى شرح بعض اوجه البحث الى زملائك بالقسم ؟

نعم +٢ ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا

١١- مارأيك فى الاجهزة التى اتيح لك استعمالها بالقسم ؟

جيدة +٢ ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ رديئة

١٢- هل تعتقد أن مشاريع البحث تحتاج الى خبرات متنوعة المجالات ؟

تحتاج +٢ ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا تحتاج

١٣- ماهو تقييمك لفكرة حلقة البحث من الناحية التعليمية ؟

جيدة +٢ ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ رديئة

١٤- هل تعتقد أن حلقة البحث غيرت شيئا فى شخصيتك العلمية ؟

نعم +٢ ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا